



SKRIPSI – TK141581

**PEMBUATAN PUPUK UREA LEPAS LAMBAT
BERLAPIS SULFUR DALAM *SPOUTED BED***

Oleh:

**Andrian Ronaldo
0221154600035**

**Zahir Ilham
0221154600037**

Dosen Pembimbing:

**Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng.
1967 02 03 1991 02 1001**

**Ni Made Intan Putri Suari., ST., MT.
1989 01 06 2015 04 2002**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



SKRIPSI – TK091383

**SULFUR COATED SLOW RELEASE UREA FERTILIZER
PRODUCTION IN SPOUTED BED**

Authors:

Andrian Ronaldo
0221154600035

Zahir Ilham
0221154600037

Advisors:

Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng.
1967 02 03 1991 02 1001

Ni Made Intan Putri Suari., ST., MT.
1989 01 06 2015 04 2002

**DEPARTEMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENBUATAN PUPUK UREA LEPAS LAMBAT BERLAPIS SULFUR DALAM SPOUTED BED

Dibuatkan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi S-1 Departemen
Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Andrian Ronaldo
Zahir Ilham

02211546000035
02211546000037

Disetujui oleh Tim Penguji Skripsi:

1. Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng.
(Pembimbing I)
2. Ni Made Intan Putri Suari, S.T., MT.
(Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.
(Penguji I)
4. Dr. Kusdianto, S.T., M.Sc. Eng
(Penguji II)
5. Dr. Widiyastuti, S.T., MT.
(Penguji III)


.....

.....

.....

.....

.....



PEMBUATAN PUPUK UREA LEPAS LAMBAT BERLAPIS SULFUR DALAM *SPOUTED BED*

Penulis : Andrian Ronaldo
(02211546000035)
Zahir Ilham
(02211546000037)

Departemen : Teknik Kimia FTI-ITS

Dosen Pembimbing : Prof.Dr.Ir.Heru Setyawan, M.Eng.
Ni Made Intan Putri Suari, S.T., M.T

ABSTRAK

Penyerapan nitrogen dari pupuk urea oleh tanaman memiliki efisiensi yang rendah. Hal ini disebabkan oleh sifat urea yang mudah terlarut oleh air. Metode yang dapat digunakan untuk menghambat terlarutnya urea dalam air yaitu dengan cara membuat *slow release fertilizer* (SRF). *Sulfur coating urea* (SCU) merupakan salah satu jenis SRF. Sulfur sebagai bahan pelapis memiliki sifat tidak larut dalam air dan dibutuhkan oleh tanaman sebagai *macronutrient*. Penelitian ini ditujukan untuk membuat pupuk urea lepas lambat berlapis sulfur. Proses pelapisan pupuk urea dilakukan dengan menggunakan *spouted bed*. *Spouted bed* adalah sebuah kaca berbentuk *cone-cylinder* berdiameter 15 cm dan tinggi 50 cm. Bagian kerucut memiliki diameter 5 cm dan kemiringan sebesar 60°. Sebanyak 1000 gram urea diumpankan ke dalam *spouted bed*. Kondisi operasi yang digunakan yaitu suhu *bed* 50, 60, 70, 80°C dengan waktu pelapisan 5, 10, 15, 20 menit. *Rate* udara minimum fluidisasi yang dibutuhkan sebesar 0.4221 m/s. Kontak antara urea dan sulfur terjadi secara *counter-current*. Pembuatan SCU berhasil dilakukan dengan hasil laju urea terlarut yang lebih rendah daripada urea murni. Laju SCU terlarut paling rendah dihasilkan pada waktu pelapisan 15 menit dan suhu *bed* 50°C. SCU memiliki difusivitas yang lebih rendah dibanding urea murni. Difusivitas SCU sebesar $1.6534 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ dan difusivitas urea sebesar $2.5337 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Kata kunci: *Urea, sulfur, pelapisan dan spouted bed*

SULFUR COATED SLOW RELEASE UREA FERTILIZER PRODUCTION IN SPOUTED BED

Name : Andrian Ronaldo
(02211546000035)
Zahir Ilham
(02211546000037)
Departement : Teknik Kimia FTI-ITS
Advisor : Prof.Dr.Ir.Heru Setyawan, M.Eng.
Ni Made Intan Putri Suari, S.T., M.T

ABSTRACT

Nitrogen absorption from urea fertilizer by plant has low efficiency. This is due to characteristic of urea that ease to soluble by water. Method which can used to inhibit urea dissolve in water is by making slow release fertilizer. Sulfur Coating Urea (SCU) is one method of SRF. Sulfur as a coating material has advantages which are insoluble in water and required by plants as a macronutrient. This study is conducted to producing sulfur coated slow release urea fertilizer. The coating process is carried out in the spouted bed. The spouted bed is a cone-cylindrical glass with 15 cm in diameter and 50 cm in height. The cone section is having 5 cm in diameter with a slope of 60°. As much as 1000 grams of urea is fed into the spouted bed. Operating condition used are bed temperature of 50, 60, 70, 80°C with coating time of 5, 10, 15, 20 minutes. The minimum required of rate fluidization is 0.4221 m/s. Sulfur is contacted in counter-current flow with urea. SCU which has been successfully created has lower dissolved rate than pure urea. The minimum dissolved rate of urea obtained at coating time of 15 minutes and bed temperature of 50°C. SCU has lower diffusivity than pure urea. SCU diffusivity of $1.6534 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ and urea diffusivity of $2.5337 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Keywords: *Urea, Sulphur, Coating and spouted bed.*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian dengan judul:

“PEMBUATAN PUPUK UREA LEPAS LAMBAT BERLAPIS SULFUR DALAM *SPOUTED BED*”

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih atas segala bantuannya dalam penyelesaian penelitian ini kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng, dan Ibu Ni Made Intan Putri Suari, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing,
2. Ibu Dr. Widiyastuti, S.T., M.T selaku Kepala Laboratorium Elektrokimia dan Korosi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
3. Bapak Juwari, S.T, M.Eng, Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
4. Kedua orang tua tercinta serta seluruh keluarga penulis atas doa dan dukungan dalam penyelesaian penelitian ini,
5. Rekan-rekan Pascasarjana dan Strata 1 (S-1) Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
6. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis merasa masih terdapat banyak kekurangan dalam naskah penelitian ini, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik untuk kesempurnaan penelitian ini.

Surabaya, Januari 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	2
I.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Urea	5
II.2 Sulfur	5
II.3 <i>Sulfur-Coated Urea</i> (SCU)	8
II.4 <i>Spouted Bed</i>	9
II.5 <i>Spray Coating</i>	12
II.6 Penelitian Sebelumnya	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Bahan Penelitian	17
III.2 Peralatan Penelitian	17
III.2.1 <i>Spouted Bed</i>	17
III.2.2 <i>Spray Nozzle</i>	19
III.2.3 Pemanas	19

III.3	Prosedur Penelitian	19
III.3.1	Pembuatan <i>Molten</i> Sulfur	19
III.3.2	Percobaan.....	19
III.4	Karakterisasi Produk	20
III.4.1	Uji Urea yang terlarut	20
III.4.2	Menghitung Difusivitas SCU	22
III.4.3	Menghitung Berat Sulfur yang Melapisi Urea	22
III.4.4	Morfologi Produk	22

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1	Visualisasi Pergerakan Partikel Urea dalam <i>Spouted Bed</i>	23
IV.2	Pengaruh Waktu Pelapisan	25
IV.3	Pengaruh Suhu <i>Bed</i>	29
IV.4	Difusivitas Sulfur Coated Urea	31
IV.5	Berat Sulfur yang Melapisi Urea	32
IV.6	Morfologi Produk.....	34

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1	Kesimpulan	39
V.2	Saran.....	39

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR NOTASI

APPENDIKS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kurva perbandingan viskositas sulfur terhadap temperature	7
Gambar 2.2	Skema Spouted Bed Coating untuk memproduksi SCU	11
Gambar 2.3	Proses Pelapisan dan Pelepasan Urea Menggunakan Sulfur	14
Gambar 3.1	Skema Rangkaian Alat Penelitian	18
Gambar 3.2	Kurva kalibrasi indeks refraktif sebagai fungsi konsentrasi urea.....	21
Gambar 4.1	Pergerakan siklik partikel urea di dalam spouted <i>bed</i>	24
Gambar 4.2	Visualisasi pergerakan partikel urea.....	24
Gambar 4.3	Pengaruh waktu pelapisan terhadap persen urea yang terlarut pada suhu bed 50°C.....	25
Gambar 4.4	Pengaruh waktu pelapisan terhadap persen urea yang terlarut pada suhu bed 60°C.....	26
Gambar 4.5	Pengaruh waktu pelapisan terhadap persen urea yang terlarut pada suhu bed 70°C.....	27
Gambar 4.6	Pengaruh waktu pelapisan terhadap persen urea yang terlarut pada suhu bed 80°C.....	28
Gambar 4.7	Pengaruh suhu bed terhadap persen urea yang terlarut dengan waktu pelapisan (A) 5 menit dan (B) 10 menit	29
Gambar 4.8	Pengaruh suhu bed terhadap persen urea yang terlarut dengan waktu pelapisan (A) 15 menit dan (B) 20 menit	30
Gambar 4.9	Berat sulfur yang melapisi urea terhadap suhu dan waktu pelapisan.....	33
Gambar 4.10	Penampakan secara fisik urea yang tidak dilapisi oleh sulfur (E) dan yang tidak dilapisi oleh sulfur (A-D)	34

Gambar 4.11 SEM produk SCU pada waktu pelapisan 20 menit
dengan suhu *bed* 50°C (A), 60°C (B), 70°C (C) dan
80°C (D)35

Gambar 4.12 Kandungan senyawa pada pelapis SCU36

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Komposisi senyawa pada pelapis SCU	37
-----------------------------------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Nitrogen merupakan salah satu unsur hara makro yang dibutuhkan oleh tanaman. Urea banyak digunakan sebagai pupuk karena kandungan nitrogen yang tinggi ($\pm 46\%$). Namun sebanyak 50-60% nitrogen hilang melalui pencucian, dekomposisi dan penguapan amonia (De Datta, 1987). Walaupun kehilangan nitrogen dapat dikurangi dengan cara pemupukan ulang dalam satu musim tanam, cara ini tidak efisien karena biaya produksi yang dikeluarkan petani akan lebih tinggi. *Slow Release Fertilizer* (SRF) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan ini. Urea yang berbentuk tablet atau butir dilapisi oleh bahan pelapis yang tidak terlarut dalam air. Sulfur dapat digunakan sebagai bahan pelapis selain karena sifatnya yang tidak terlarut dalam air juga sebagai *macronutrient* yang diperlukan oleh tanaman (Trenkel, 2010).

Beberapa penelitian mengenai *sulfur coating urea* telah dilakukan dengan berbagai macam metode (*rotating drum*, *fluidized bed* dan *spouted bed*). Proses pelapisan menggunakan *spouted bed* lebih baik dibandingkan dengan metode lainnya. Lubang pancar (*spout*) menyebabkan terjadinya sirkulasi urea yang lebih baik. *Sulfur coating urea* menggunakan *spouted bed* pertama kali dikembangkan oleh Mathur dan Meisen (1975). *Spouted bed* dilengkapi oleh *spray nozzle* yang berfungsi untuk menghamburkan umpan bahan pelapis. Weiss dan Meisen (1981) melakukan modifikasi terhadap *nozzle* untuk mencegah sumbatan yang disebabkan solidifikasi sulfur. *Spray nozzle* ditambahkan sebuah *steam jacketed* dan *cartridge filter*.

Proses pelapisan dimulai ketika tumpukan bagian tengah partikel urea terdorong oleh udara *spout* hingga mencapai bagian atas *bed*. Pada bagian atas *bed*, partikel akan berkontak berkontak dengan *molten sulfur* secara *counter-current* dan membentuk lapisan pada bagian kulit luar partikel. Setelah itu, partikel akan

terlempar ke samping sebagai *fountain* dan turun kebawah sebagai anulus yang bergerak berlawanan arah dengan *spout*. Lapisan sulfur akan mengering dikarenakan waktu ketika partikel urea turun ke bawah sebagai anulus. Partikel urea yang turun sebagai anulus akan terus bergerak kebawah hingga mencapai mulut bagian bawah kaca berbentuk kerucut yang terhubung langsung dengan pipa udara *spout* sehingga partikel urea tersebut terdorong kembali ke bagian atas *bed* oleh udara *spout*.

Pelapisan pupuk untuk dijadikan pupuk *Slow Release Fertilizer* (SRF) dilakukan dalam kondisi batch. Proses *batch* menghasilkan lapisan sulfur yang lebih merata dibandingkan dengan proses *continue* karena distribusi partikel hampir seragam (Tsai, 1986). Oleh karena itu, pelapisan urea menggunakan sulfur kali ini dilakukan dalam *spouted bed* yang berlangsung secara *batch*. Variabel operasi utama yang mempengaruhi kualitas produk adalah suhu *bed* (T_b), kecepatan sulfur (W_s), kecepatan aliran udara spray (Q_a), dan laju udara *spouted bed* (Q_s).

I.2 Rumusan Masalah

Dari uraian di atas, dapat dirumuskan bahwa penelitian difokuskan untuk mempelajari proses pelapisan urea dengan pengaruh kondisi operasi seperti suhu *bed* dan waktu pelapisan terhadap berat sulfur yang melapisi dan laju urea yang terlarut dalam air.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mempelajari pengaruh suhu *bed* dan waktu pelapisan pembuatan pupuk urea lepas lambat urea berlapis sulfur dalam *spouted bed*.
2. Mempelajari kualitas dan karakteristik pelarutan urea berlapis sulfur dalam air.

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diantaranya:

1. Menciptakan pupuk yang memiliki sifat *slow release fertilizier*
2. Membantu petani dalam menghemat penggunaan pupuk

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Urea

Urea (*carbamide*) merupakan padatan kristalin putih dengan rumus kimia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, yang sebagian besar kandungannya adalah nitrogen. Urea ini biasanya dalam bentuk curah dan butiran. Senyawa urea memiliki berat jenis $1,33 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ dengan titik leleh $132,7^\circ\text{C}$. Urea larut dalam air tetapi tidak larut dalam pelarut organik. Urea juga disintesis dalam skala industri dari amoniak dan karbondioksida untuk digunakan dalam resin urea-formaldehid (resin sintetis yang mengandung gugus ulang $(-\text{NH}-\text{CO}-\text{O}-)$ dan obat-obatan, pupuk nitrogen).

Urea termasuk pupuk yang higroskopis (mudah menyerap uap air) pada kelembaban 73%. Untuk dapat diserap oleh tanaman, nitrogen dalam urea harus dikonversi terlebih dahulu menjadi ammonium ($\text{N}-\text{NH}_4^+$) dengan bantuan enzim urease melalui proses hidrolisis. Namun bila diberikan ke tanah proses hidrolisis tersebut akan cepat sekali terjadi sehingga mudah menguap sebagai amoniak. Sekitar 50-60% nitrogen dari urea hilang terbawa air hujan dan volatilisasi, hal ini menyebabkan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian pupuk besar (De Datta, 1987).

II.2 Sulfur

Sulfur merupakan unsur non logam, dalam tabel periodik unsur berada pada golongan VI-A periode ketiga. Dalam bentuk umumnya, sulfur sering disebut sebagai belerang. Sulfur adalah salah satu bahan baku paling penting dalam industri kimia, misalnya pada industri *fertilizer*, *synthetic rubber*, dan beberapa industri asam-asam anorganik.

Sulfur mempunyai bentuk fisik berwarna kuning, padatan non-konduktor yang sifatnya rapuh dengan titik leleh 119°C , tidak larut dalam air akan tetapi larut dalam pelarut lain seperti karbon disulfida atau metil benzena. Sulfur memiliki kegunaan yang cukup banyak di dunia industri, antara lain untuk proses pembuatan asam sulfat, agen pembasmi serangga dan jamur, katalis dalam

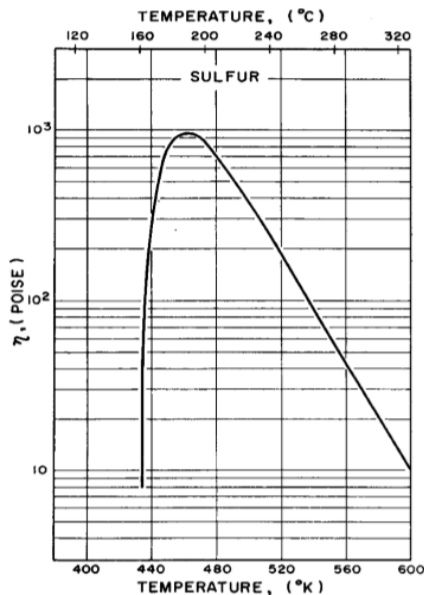
proses *bleaching* pada pembuatan kertas, pemanfaatan dalam bidang fotografi, dan juga obat-obatan. Sulfur tersedia dalam bentuk molekul, yang masing masing terdiri atas delapan atom dengan ikatan kovalen. Sulfur tersedia pula dalam bentuk *allotrope*, yakni *rhombic sulfur* (α -sulfur) dan *monoclinic sulfur* (β -sulfur).

Rhombic sulfur merupakan *allotrope* sulfur yang paling umum dijumpai di laboratorium. Ini merupakan jenis sulfur yang paling stabil pada temperatur di bawah 96°C dengan struktur molekul S_8 . Struktur molekul S_8 berupa kristal oktahedral. *Rhombic sulfur* terbentuk ketika larutan sulfur dalam metil benzena diuapkan secara perlahan di bawah temperatur 96°C . Sedangkan *monoclinic sulfur* merupakan *allotrope* yang stabil pada temperatur di atas 96°C . *Monoclinic sulfur* dibentuk dengan pemanasan *roll sulfur* hingga mencapai titik lelehnya, kemudian dituangkan ke dalam suatu wadah yang terdiri atas kertas saring dan siap untuk didinginkan. Ketika kertas saring tersebut diangkat, akan segera terbentuk kristal yang menyerupai kerak. Apabila *monoclinic sulfur* dibiarkan dingin pada temperatur ruangan, maka akan berubah dengan sendirinya menjadi *rhombic sulfur*.

Ketika sulfur dipanaskan hingga mencapai titik lelehnya, kemudian dipanaskan secara perlahan hingga mencapai titik didihnya, sulfur akan mengalami perubahan fisik sebagai berikut:

1. Serbuk sulfur kuning akan meleleh membentuk cairan berwarna pada temperature 119°C .
2. Pada awalnya sulfur cair ini sangat encer, kemudian secara perlahan berubah warna menjadi lebih gelap dan lebih kental.
3. Cairan ini berubah warna menjadi merah kecoklatan dan kemudian menjadi sangat gelap hampir hitam dan sangat kental.
4. Mendekati temperatur titik didihnya, cairan gelap ini menjadi encer kembali.
5. Pada temperatur 444°C sulfur cari mendidih dan mulai terbentuk uap.

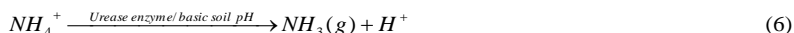
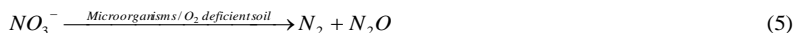
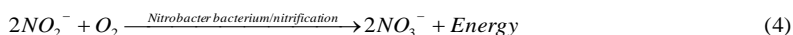
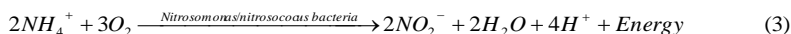
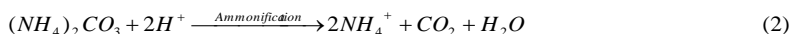
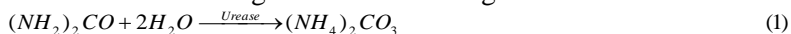
Susunan molekul dari sulfur cair berubah secara signifikan dan *reversible* terhadap perubahan temperatur. Perubahan itu dibuktikan dengan ketergantungan karakteristik properti fisik sulfur terhadap temperatur. Dalam beberapa penelitian tentang sulfur cair, terdapat hal mencolok terjadi pada properti fisik sulfur pada temperatur 160°C. Sebagai contoh, pada temperatur 120°C viskositas sulfur berkisar pada 11 mPa-s, namun turun hingga viskositas minimumnya yakni 6,7 mPa-s pada temperatur 157°C, dan kemudian naik kembali pada temperatur di atasnya. Pada temperatur 159-160°C, viskositas sulfur cair meningkat tajam hingga 30 mPa-s pada 160°C dan mencapai maksimum berkisar 93 Pa-s pada temperatur 187°C. Di atas temperatur tersebut, viskositasnya turun kembali hingga 2 Pa-s pada temperatur 306°C. Berikut kurva perbandingan antara viskositas sulfur dengan temperature.



Gambar 2.1 Kurva perbandingan viskositas sulfur terhadap temperature (Sumber: Tobolsky, 1966)

II.3 *Sulfur-Coated Urea (SCU)*

Sulfur-Coated Urea (SCU) telah terbukti *slow release fertilizer* yang efektif dan ekonomis. *Slow release fertilizer (SRF)* atau *control release fertilizer (CRF)* merupakan pupuk lepas lambat, suatu jenis pupuk yang mampu mengendalikan kecepatan pelepasan unsur-unsur hara yang mudah hilang akibat larut dalam air dan menguap serta proses denitrifikasi terhadap pupuk itu sendiri (Tzika, Alexandridou, & Kiparissides, 2003). *Sulfur-Coated Urea (SCU)* adalah lapisan tipis sulfur yang tahan air pada butiran urea. Lapisan belerang dapat dianggap sebagai membran kedap air yang secara perlahan terdegradasi melalui proses mikroba, kimia dan fisika. Konsentrasi nitrogen dan laju pelepasannya bervariasi dengan ketebalan lapisan dalam ukuran butiran atau prill. Hal ini juga dipengaruhi oleh kemurnian urea yang digunakan (El Sheltawi, 1982). Berikut proses terdegradasinya urea di dalam tanah melalui proses biologis, kimia dan fisika untuk menghasilkan nutrisi bagi tanaman.



Reaksi ke-2 dan ke-4 menghasilkan nutrisi yang dibutuhkan untuk tanaman. Karena tanaman hanya membutuhkan sedikit makanan selama pertumbuhan awal, kelebihan nutrisi hilang karena pencucian. Dalam reaksi ke-5 dan ke-6, nitrogen hilang melalui emisi gas berbahaya. Oleh karena itu, produksi SCU yang sesuai dibutuhkan untuk mengatasi masalah ini (Azeem, Kushaari, Man, Basit, & Thanh, 2014).

Ada empat alasan utama yang mendukung kombinasi urea dan belerang:

- Urea memiliki 46% N dan setelah dilapisi dengan belerang, SCU masih mengandung sekitar 30-40% N;
- Urea rentan terhadap pencucian dan / atau kehilangan amonia akibat penguapan; Dengan menutupi butiran urea dengan membran belerang yang kedap air, kerugian tersebut berkurang secara signifikan;
- Sulfur meleleh pada suhu sekitar 119°C;
 - Sulfur adalah nutrisi tanaman yang berharga dan aplikasinya menjadi lebih penting karena peraturan lingkungan menurunkan emisi sulfur ke atmosfer dan karenanya, terdeposisi ke tanah (Trenkel, 2013).

Saat ini produk SCU mengandung 30 sampai 42% N dan 6 sampai 30% S. Namun, SCU tidak tahan gesekan karena sifat alami dari lapisan belerang. Pelepasan unsur hara dari partikel SCU secara langsung dipengaruhi oleh ketebalan dan kualitas lapisan (Trenkel, 2013).

II.4 *Spouted Bed*

Pengembangan proses *sulfur coating* dengan *spouted bed* dimulai tahun 1975 oleh Meisen dan Mathur. Peralatan utama terdiri dari bejana silinder dengan dasar berbentuk kerucut. *Spouted bed* mempunyai tiga daerah yang berbeda (yaitu *Spout*, *Annulus*, dan *Fountain*) seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. Udara disuntikkan melalui lubang di dasar kerucut membentuk lubang pancar (*Spouted*) sehingga gas dan partikel *bed* bergerak ke atas sampai mencapai puncak dari *bed* (*Fountain*) dan kemudian jatuh kembali ke dalam *annulus*. *Spouted bed* telah dikembangkan menjadi alternatif yang efektif untuk *fluidized bed* untuk menangani partikel kasar, yaitu partikel yang melebihi sekitar 1 mm pada diameter (Choi & Meisen, 1997).

Kapasitas yang diperlukan untuk memuat material yang diproses dapat diketahui dengan besarnya volume *spouted bed*. Dimensi volume akan ditentukan oleh tinggi kolom (H) dan diameter kolom (D). Semakin tinggi kolom semakin memperbesar tekanan bagian bawah sehingga memperbesar penurunan tekanan

(ΔP). Sedangkan makin besar diameter kolom akan menurunkan ΔP , namun membutuhkan kecepatan udara yang lebih besar.

Kecepatan udara *spout*, diameter, densitas partikel, diameter orifice dan kolom sangat mempengaruhi *cyclic motion* (siklus partikel yang teratur) partikel di dalam kolom. Mathur dan Gishler (1955) merumuskan dalam persamaan 2.1.

$$U_{ms} = \frac{d_p}{D} \left(\frac{d_i}{D} \right)^{\frac{1}{3}} \sqrt{2gH \frac{\rho_p - \rho}{\rho}}$$

(2.1)

Keterangan:

d_p = Diameter partikel (m)

d_i = Diameter dalam pipa udara spout (m)

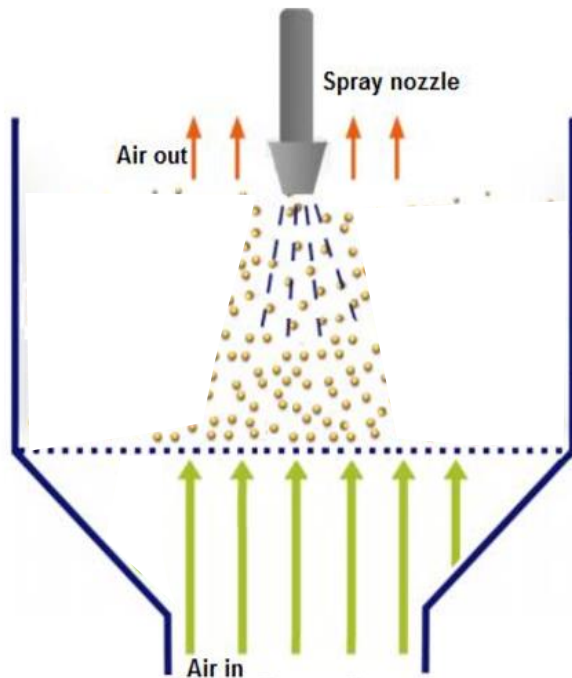
D = Diameter kolom (m)

g = Percepatan gravitasi (9.81 m/s^2)

H = Tinggi tumpukan partikel (m)

ρ_p = Densitas partikel (g/m^3)

ρ = Densitas (g/m^3)



Gambar 2.2 Skema Spouted Bed Coating untuk memproduksi SCU

(Sumber: Naz & Sulaiman, 2016)

Terciptanya *spouted bed* mula-mula dipandang sebagai modifikasi *fluidized bed*. Kebutuhan akan modifikasi ini timbul dari dijumpainya kualitas fluidisasi yang buruk terhadap partikel kasar yang *uniform* (seragam). Oleh karena itu *spouted bed* merupakan tipe khusus dari *fluidized bed*. *Spouted bed* memperlihatkan sifat-sifat yang menggambarkan kemampuannya dalam menjalankan operasi siklik tertentu yang berguna untuk partikel padatan, dimana sifat-sifat tersebut tidak dapat dijalankan di dalam *fluidized bed* karena gerakan partikel di dalam *fluidized bed* bersifat random (acak) (Mathur & Epstein, 1974).

Mathur telah mencoba menggunakan udara panas sebagai medium pancar untuk mengeringkan gandum dan terbukti bahwa

mekanisme aliran partikel padat dan gas di dalam *spouted bed* adalah berbeda dengan *fluidized bed*. Dalam perkembangannya *spouted bed* digunakan untuk pelapisan bijih dan benih (Liu & Litster, 1993). Proses pelapisan menggunakan *spouted bed* lebih baik dari *fluidized bed* karena adanya sirkulasi partikel yang baik. Sirkulasi yang baik membuat waktu tinggal yang cukup sehingga memperkecil terjadinya aglomerat.

II.5 *Spray Coating*

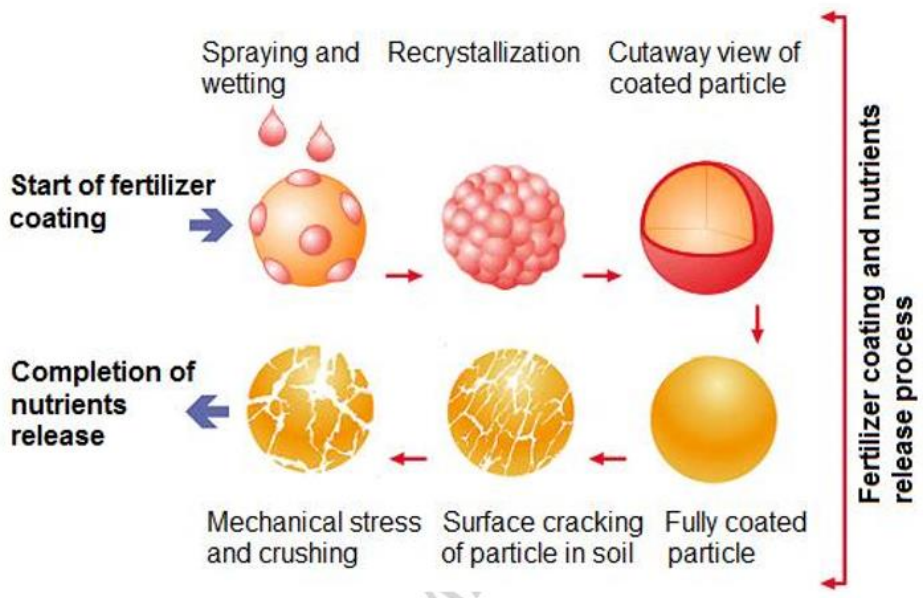
Spray coating merupakan sistem pelapisan pada *spouted bed* baik *batch* atau *continuous*. Lapisan tipis pada permukaan partikel terbentuk dari larutan, *suspense* dan leburan yang disemprotkan. Lapisan ini merupakan proses dinamis dan kompleks dimulai dari mengontaknya *droplet* pelapis dengan permukaan partikel, kemudian *droplet* membasahi dan menyebar pada permukaan partikel, kemudian pelarutnya terevaporasi.

Dalam proses *spray coating*, tekanan injeksi nosel mempengaruhi distribusi ukuran tetesan dalam aliran *spray* bahan pelapis dan berakibat pada kualitas pelapisan. Secara umum, tekanan injeksi yang lebih tinggi dan laju alir yang lebih rendah menghasilkan *spray* yang lebih halus dengan *droplet* yang lebih kecil. Di sisi lain, tekanan injeksi yang lebih rendah atau laju alir yang lebih tinggi sering menghasilkan tetesan yang lebih besar dan akibatnya lapisan lemah, tidak seragam dan lebih permeabel. Biasanya, pola *spray* dengan ukuran *droplet* dan kecepatan terdistribusi yang seragam diinginkan dalam proses pelapisan. *Droplet* semprotan yang lebih besar dengan momentum yang cukup tinggi dapat menyebabkan pembasahan berlebihan dari butiran target, yang mana akan mengurangi kekompakan dan kekuatan mekanik lapisan.

Pada proses *spray coating*, lamanya injeksi semprotan sangat penting. Bila lelehan sulfur berhasil mencapai butiran urea, ia akan membasahi permukaannya. Bergantung pada kondisi di dalam kolom, partikel yang dilapisi dapat bertabrakan dengan partikel lain dan membentuk gumpalan kecil di antara keduanya. Jika ada over *spray* pada permukaan butiran, banyak butiran akan

bergabung bersama untuk membentuk gumpalan yang lebih besar atau disebut aglomerat. Fenomena ini dikenal sebagai *wet quenching*.

Proses pelapisan *slow release fertilizer* dimulai ketika *droplet-droplet* mencapai permukaan urea dan mulai menyebar. Setelah itu, *droplet* yang telah menyebar mulai ter-kristalisasi disebabkan oleh kontak dengan udara *spout* sehingga membentuk lapisan sulfur yang penuh pada permukaan urea. Pelepasan *nutrient* pada *slow release fertilizer* disebabkan oleh degradasi parsial lapisan. Dengan berlalunya waktu, lapisan menjadi berpori-pori dan mulai hancur dan menyebabkan pelepasan *nutrient* dari pupuk. Berdasarkan penelitian sebelumnya lapisan yang terbentuk sebagian akan bersifat hidrofilik dan sebagian lainnya akan bersifat hidrofobik (Naz & Sulaiman, 2016). Bagian hidrofilik akan memudahkan air mengalir melalui lapisan dan menyebabkan terjadinya kemungkinan transfer *nutrient*. Pada saat yang bersamaan lapisan yang bersifat hidrofobik akan menghambat proses pelepasan *nutrient* yang cepat pada pupuk. Gambar 2.3 menunjukkan proses pelapisan urea sulfur dan proses pelepasan *nutrient* dari pupuk yang telah dilapisi.



Gambar 2.3 Proses Pelapisan dan Pelepasan Urea Menggunakan Sulfur (Sumber: Naz & Sulaiman, 2016)

II.6 Penelitian Sebelumnya

No	Peneliti	Judul penelitian	Hasil penelitian
1	Liu dan Litster (1992)	<i>Spouted bed seed coating: the effect of process variables on maximum coating rate and elutriation</i>	Tinggi bed, temperature bed dan kecepatan udara spout mempengaruhi kecepatan slurry. Apabila kecepatan slurry terlalu besar akan menyebabkan kegagalan proses pelapisan karena terjadi aglomerasi.

No	Peneliti	Judul penelitian	Hasil penelitian
2	Rosa dan Rocha (2010)	<i>Efect of process conditions on particle growth for spouted bed coating of urea</i>	Pertumbuhan partikel menunjukkan hasil yang memuaskan ditunjukkan pada garis koefisien pertumbuhan yaitu $1,13 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ($R^2=99,02\%$)
3	Weiss dan Meisen (1983)	<i>Laboratory studies on Sulphur-Coating urea by the spouted bed process</i>	Laju urea yang terlarut rendah dihasilkan pada temperatur bed dan kecepatan udara atomisasi yang tinggi.
4	Meritia dan Dany	Pelapisan Urea dengan Sulfur dalam <i>Spouted Bed</i>	Laju terlarutnya urea rendah pada konsentrasi 0,52%, rate slurry 8 ml/menit, dan suhu 60°C

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Bahan Penelitian

Bahan utama dalam penelitian ini, yaitu pupuk urea dari Petrokimia Gresik. Sedangkan bahan yang digunakan untuk pelapisan adalah *molten* sulfur.

III.2 Peralatan Penelitian

Skema peralatan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.1. Secara umum peralatan terdiri dari *spouted bed*, *spray nozzle*, *heater*, dan kompressor.

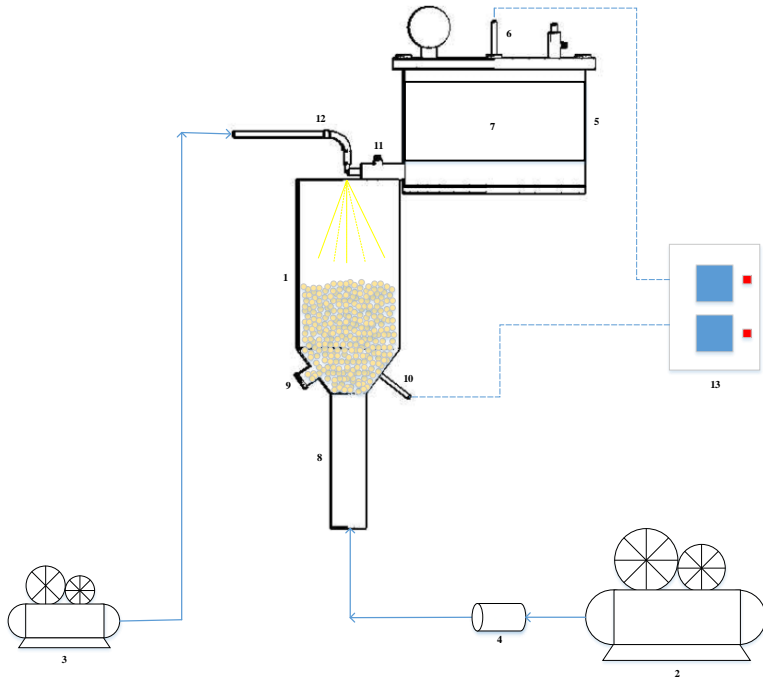
III.2.1 *Spouted Bed*

Proses pelapisan urea terjadi di dalam *spouted bed* yang terbuat dari kaca sehingga mempermudah dalam pengamatan gerakan partikel. *Spouted bed* berbentuk *cone-cylinder* yang memiliki diameter 15 cm dengan ketinggian 50 cm. Bagian kerucut memiliki diameter 5 cm dan kemiringan sebesar 60°. Kemiringan bagian kerucut menyebabkan gaya dorong gas yang akan masuk kedalam tumpukan partikel semakin besar sehingga tercipta lubang pancar (*spout*).

Derajat kemiringan ditentukan oleh *angle of repose* dari jenis partikel yang akan diproses. *Angle of repose* suatu partikel adalah derajat kemiringan tertentu terhadap bidang datar yang menyebabkan partikel tersebut dapat tergelincir. Partikel dengan bentuk mendekati bulat akan lebih kecil derajat *angle of repose*-nya dibandingkan partikel pipih dan tidak teratur.

Terdapat 2 perangkat pembacaan dan pengatur suhu yang digunakan di dalam reactor yaitu *temperature controller* (Autonics TCN4M) dan untuk sensornya menggunakan 2 *thermocouple*. *Thermocouple* I terdapat di tangki *molten* sulfur yang memiliki panjang 32 cm dipasang tepat ditengah tangki *molten* sulfur dan *thermocouple* II terdapat di *spouted bed* yang memiliki panjang 30 cm dipasang ditengah *spouted bed*,

Perforated plate (kasa) dipasang pada bagian bawah kerucut untuk memperkecil kecepatan udara yang akan masuk ke dalam kolom sehingga udara yang akan mengangkat partikel tidak terlalu besar. Selain itu, ditambahkan *screener* agar partikel tidak turun ke bawah.



Gambar 3.1 Skema Rangkaian Alat Penelitian

Keterangan:

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1. <i>Spouted Bed</i> | 7. <i>Thermocouple I</i> |
| 2. <i>Kompresor I</i> | 8. <i>Band Heater II</i> |
| 3. <i>Kompresor II</i> | 9. <i>Spouting Air</i> |
| 4. <i>Band heater I</i> | 10. <i>Sampling Port</i> |
| 5. <i>Tangki Molten Sul</i> | 11. <i>Ball Valve</i> |
| 6. <i>Thermocouple II</i> | 12. <i>Atomizing Air</i> |
| | 13. <i>Temperature Controller</i> |

III.2.2 *Spray Nozzle*

Spray nozzle berfungsi untuk mengatomisasi *molten* sulfur. *Molten* sulfur dialirkan secara gravitasi menuju *spray nozzle* kemudian tertabrak oleh udara yang berkecepatan tinggi di dalam *nozzle* sehingga *molten* sulfur akan terpecah dan keluar dari *nozzle* berbentuk *droplet*. *Droplet* tersebut kemudian berkontak dengan urea sehingga akan terbentuk lapisan sulfur pada kulit luar partikel urea. *Spray nozzle* mempunyai diameter dalam 3 mm dan diameter luar 6 mm.

III.2.3 Pemanas

Udara yang akan masuk ke dalam *spouted bed* dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *band heater*. Terdapat 2 buah *band heater* yang akan digunakan pada penelitian ini. *Band heater* merupakan pemanas elektrik yang berbentuk silinder dan terbuat dari *stainless steel*. *Band heater* I mempunyai diameter 65 mm dan tinggi 100 mm dan *band heater* II mempunyai diameter 270 mm dan tinggi 220 mm.

III.3 Prosedur Penelitian

III.3.1 Pembuatan *Molten* Sulfur

Molten sulfur sebagai bahan yang akan melapisi urea di dalam *spouted bed* dibuat dengan cara melelehkan padatan sulfur pada temperatur 150 °C di dalam tangki *molten* sulfur.

III.3.2 Percobaan

Urea diayak pada ayakan dengan ukuran 20 mesh terlebih dahulu untuk menghilangkan urea yang hancur, kemudian urea yang telah diayak sebanyak 1000 gram dimasukkan ke dalam *spouted bed*. Kompresor udara *spout* dinyalakan sehingga menimbulkan pergerakan siklik dari tumpukan urea. Setelah keadaan *steady state* tercapai, pemanas dinyalakan. Kemudian suhu di dalam *bed* diatur pada variasi temperatur 50, 60, 70 dan 80. Setelah suhu didalam *bed* konstan, kompresor *atomizing air* dinyalakan dan kran tangki *molten* sulfur dibuka untuk mengalirkan *molten* sulfur menuju *spray nozzle*. *Molten* sulfur di

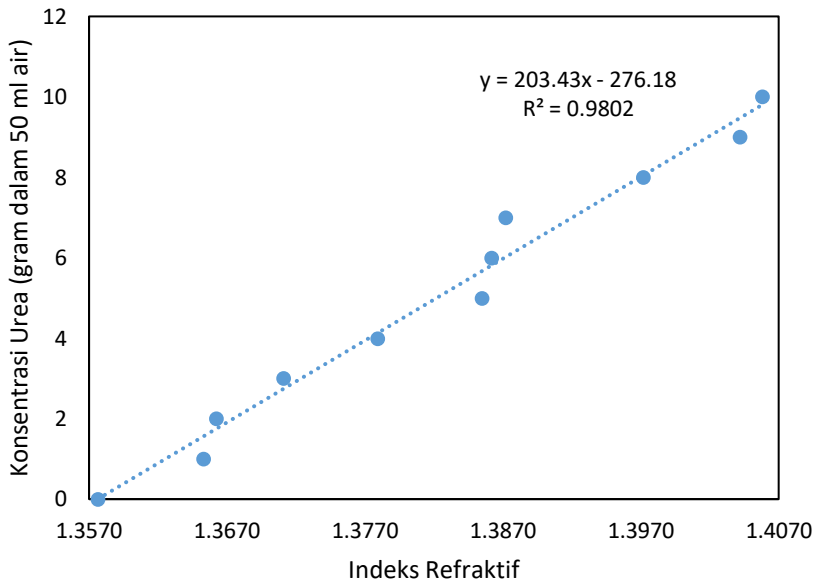
dalam *spray nozzle* bertumbukan dengan *atomizing air* yang berkecepatan tinggi sehingga terbentuk *droplet-droplet*. Kemudian *droplet-droplet* tersebut berkontak dengan partikel urea secara *counter-current* sehingga terbentuk lapisan sulfur pada kulit luar partikel urea. Lapisan sulfur akan mengering karena waktu ketika terjatuh ke bagian dasar *bed* sebagai anulus. Partikel urea akan tersirkulasi dan mengalami pelapisan ulang ketika terdorong menuju *bed* bagian atas. Proses ini berlangsung selama 20 menit, dimana setiap 5 menit dilakukan pengambilan sampel melalui *sampling port*. Setelah proses berakhir, matikan seluruh kompresor.

III.4 Karakterisasi Produk

Karakterisasi produk dilakukan dengan uji urea yang terlarut dalam air, uji kandungan sulfur dan mengetahui ketebalan sulfur yang melapisi urea dengan metode *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

III.4.1 Uji Urea yang terlarut

Uji urea terlarut dilakukan untuk mengetahui kecepatan terlarutnya dalam air. Sebanyak 10 gram produk dimasukkan ke dalam 100 ml tabung reaksi yang didalamnya berisi air sebanyak 50 ml. Tabung reaksi dijaga suhunya agar tetap konstan sebesar 38° C di dalam *water bath*. Kondisi ini dijaga selama 7 hari. Pengocokan perlahan diperlukan sebelum dianalisa. Konsentrasi urea yang terlarut diukur dengan menggunakan alat *refractometer*. Gambar 3.2 menunjukkan kurva kalibrasi indeks refraktif sebagai fungsi konsentrasi urea.



Gambar 3.2 Kurva kalibrasi indeks refraktif sebagai fungsi konsentrasi urea

Dari gambar 3.2 diperoleh persamaan untuk menghitung konsentrasi urea terlarut:

$$y = 203,43x - 276,18$$

dimana : x = indeks refraktif

y = massa urea yang terlarut

$n_D = 1,4058 \longrightarrow y = 203,43(1,4058) - 276,18 = 9,806$
 untuk Indeks refraktif (n_D) 1,4058 maka akan menunjukkan 9,086 urea yang terlarut dalam 50 ml air. Persen massa urea yang terlarut (D) diperoleh dari persamaan berikut :

$$D = \frac{W_u}{W_s} = \frac{\text{massa urea yang terlarut}}{\text{massa urea dalam sampel}} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$D = \frac{9,806}{10} \times 100\% = 98.06\%$$

III.4.2 Menghitung Difusivitas SCU

Perhitungan difusivitas SCU dilakukan dengan menggunakan persamaan hukum fick, persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$J_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dr} \quad (3.2)$$

Dimana,

J_A = Fluks massa A, gr/s.m²

D_{AB} = Difusivitas A dalam B, m²/s

dC_A = Konsentrasi A, gr/m³

dr = Jari-jari, m

III.4.3 Menghitung Berat Sulfur yang Melapisi Urea

Berat sulfur yang melapisi urea dihitung dengan cara mengambil 10 butir urea dan produk secara acak kemudian, urea dan produk tersebut ditimbang. Penimbangan dilakukan sebanyak 5 kali dan diambil rata-rata berat dari setiap produk. Selisih antara berat produk dan berat urea merupakan berat sulfur yang melapisi urea.

III.4.4 Morfologi Produk

Alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi produk sebelum dan setelah dilapisi sulfur yaitu *Scanning Electron Microscope* (SEM).

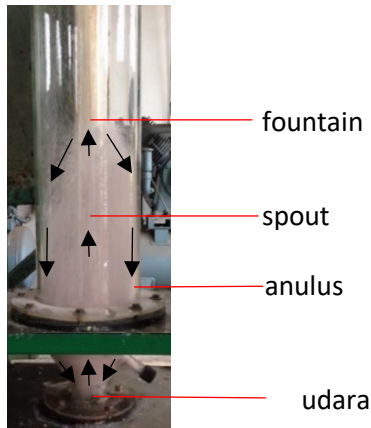
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dipelajari proses pembuatan pupuk lepas lambat urea berlapis sulfur. Sulfur murni dicairkan pada temperature 150°C selanjutnya, dihamburkan menggunakan *sprayer* yang terpasang pada bagian atas kolom *spout*. Urea yang terdorong oleh udara *spout* dari bagian bawah kolom akan berkontak secara *counter-current* dengan sulfur sehingga *droplet-droplet* sulfur akan melapisi permukaan partikel urea. Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh waktu pelapisan dan suhu *bed* terhadap laju urea yang terlarut dalam air. Pupuk urea yang telah dilapisi, diambil sebanyak 10 gram untuk dilarutkan dalam 50 ml air kemudian, dijaga pada suhu konstan 38°C di dalam *waterbath*.

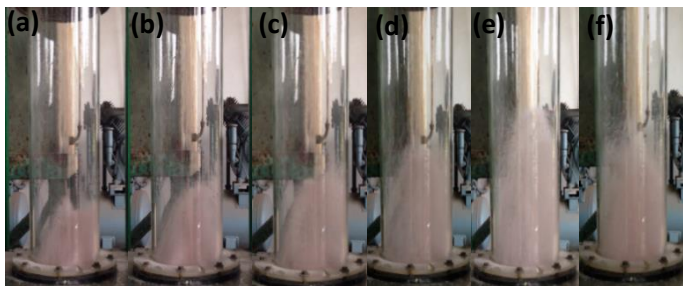
IV.1 Visualisasi Pergerakan Partikel Urea dalam *Spouted Bed*

Kecepatan udara merupakan faktor utama yang sangat mempengaruhi kinerja *spouted bed*. Pergerakan siklik partikel urea yang dihasilkan di dalam *bed* disebabkan oleh dorongan aliran udara yang berasal dari bagian bawah *bed*. Pada saat kecepatan udara di atas kecepatan minimum fluidisasi, udara akan mendorong bagian tengah tumpukan partikel dan membentuk sebuah lubang pancar (*spout*) sehingga partikel akan terdorong hingga mencapai *bed* bagian atas. Kecepatan fluidisasi minimum untuk kondisi operasi yang kami gunakan yaitu sebesar 0,4221 m/s. Setelah itu, partikel akan terlempar ke samping sebagai *fountain* dan turun kebawah sebagai anulus yang bergerak berlawanan arah dengan *spout*. Partikel urea yang turun sebagai anulus akan terus bergerak kebawah hingga mencapai mulut bagian bawah kaca berbentuk kerucut yang terhubung langsung dengan pipa udara *spout* sehingga partikel urea tersebut terdorong kembali ke bagian atas *bed* oleh udara *spout*. Proses tersebut akan berlangsung terus-menerus selama waktu pelapisan. Gambar 4.1 menunjukkan pergerakan siklik dari partikel urea di dalam *spouted bed*.



Gambar 4.1 Pergerakan siklik partikel urea di dalam spouted *bed*

Namun, *spout* tidak akan terbentuk jika kecepatan udara dibawah kecepatan minimum fluidisasi. Pada saat kecepatan udara dibawah kecepatan minimum, udara tidak sanggup mendorong tumpukan partikel urea sehingga tidak mengubah kedudukan partikel. Ketika kecepatan udara dinaikkan perlahan hingga diatas kecepatan minimum, partikel mulai bergerak dan *spout* mulai terbentuk. Gambar 4.2 menunjukan visualisasi berbagai macam pergerakan partikel urea dengan ketinggian fountain yang berbeda-beda.



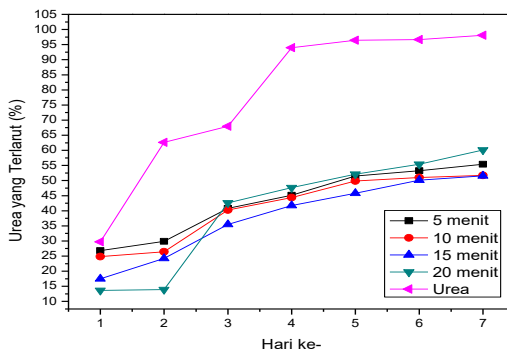
Gambar 4.2 Visualisasi pergerakan partikel urea (a) hingga (e) kenaikan kecepatan udara *spout* dan (f) penurunan kecepatan udara *spout*

Pada gambar 4.2 (a) dapat dilihat bahwa *spout* mulai terbentuk. Ketinggian *fountain* terus meningkat dari gambar 4.2 (a) hingga 4.2 (e) dan mulai terjadi penurunan ketinggian pada gambar 4.2 (f). Perubahan ketinggian yang terjadi disebabkan oleh *rate* udara *spout* yang tidak konstan.

IV.2 Pengaruh Waktu Pelapisan

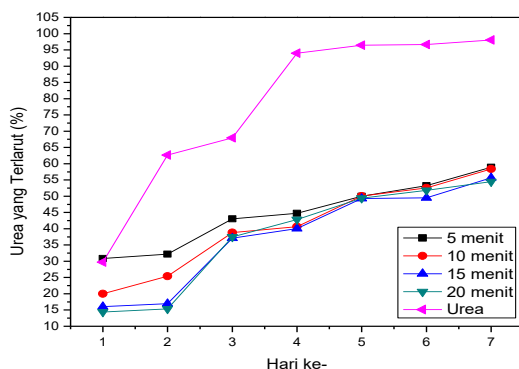
Tebalnya sulfur yang melapisi urea bergantung pada lamanya proses pelapisan. Semakin lama proses pelapisan, maka akan dihasilkan lapisan sulfur yang lebih tebal dan begitu pula sebaliknya. Ketebalan lapisan sulfur tidak menentukan kualitas dari lapisan. Lapisan yang sangat tebal dapat menyebabkan pelepasan nitrogen dalam urea tersebut membutuhkan waktu yang terlalu lama, sehingga proses penyerapan nitrogen oleh tanaman kurang efektif.

Oleh karena itu, dibutuhkan waktu pelapisan yang tepat agar dapat terbentuk *sulfur coated urea* dengan ketebalan lapisan sulfur yang sesuai dan pelepasan nitrogen dalam *sulfur coated urea* tidak terlalu lama. Waktu pelapisan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 20 menit. Gambar 4.3 menunjukkan persen terlarut urea dalam air selama 7 hari pada suhu *bed* 50°C.



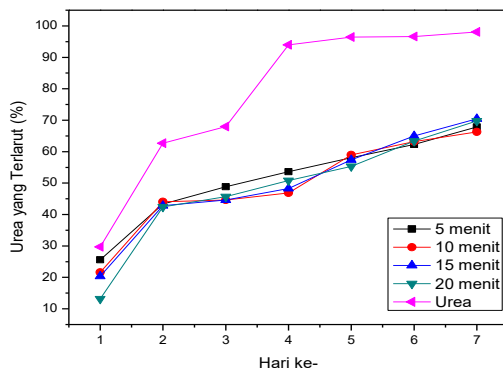
Gambar 4.3 Pengaruh waktu pelapisan terhadap persen urea yang terlarut pada suhu *bed* 50°C

Berdasarkan gambar diatas, dapat terlihat bahwa persen terlarut urea paling rendah dimiliki oleh waktu pelapisan 15 menit. Pada hari ke-1 hingga hari ke-2 persen terlarut rea terendah dimiliki oleh waktu pelapisan 20 menit. Namun, pada hari selanjutnya hingga hari ke-7 persen urea terlarut produk waktu pelapisan 20 menit memiliki nilai tertinggi. Hal tersebut dapat disebabkan oleh lapisan sulfur yang terbentuk pada permukaan partikel urea tidak merata sehingga terdapat bagian yang sangat tebal tetapi pada sisi permukaan yang lain terdapat pula bagian dengan lapisan yang lebih tipis. Pada bagian yang tipis tersebut lapisan sulfur lebih mudah retak. Retakan tersebut menyebabkan terjadinya proses difusi antara partikel urea dengan air lebih cepat sehingga mempengaruhi laju terlarutnya urea. Selain itu, persen terlarut urea yang tinggi dapat disebabkan oleh sirkulasi partikel yang tidak merata sehingga terdapat beberapa partikel yang belum terlapisi dan sebagian yang lain memiliki lapisan yang sangat tipis Gambar 4.4 menunjukkan persen urea terlarut dalam air selama 7 hari pada suhu *bed* 60°C.



Gambar 4.4 Pengaruh waktu pelapisan terhadap persen urea yang terlarut pada suhu *bed* 60°C

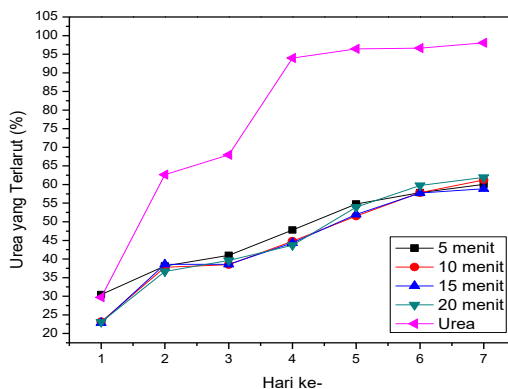
Berdasarkan gambar diatas, terlihat pada hari ke-1 dan ke-2 persen urea terlarut paling rendah dimiliki oleh waktu pelapisan 20 menit. Namun, pada hari selanjutnya hingga hari ke-7 waktu pelapisan 20 menit memiliki persen urea terlarut yang berbeda tipis dibandingkan dengan waktu pelapisan 15 menit. Hal ini dapat disebabkan oleh lapisan sulfur yang tidak merata pada setiap partikel urea. Tidak meratanya lapisan sulfur dapat disebabkan oleh sirkulasi partikel yang tidak merata dikarenakan *rate* udara spout yang tidak konstan. Selain itu, *rate* sulfur yang tidak konstan menyebabkan jumlah sulfur yang melapisi permukaan urea tidak jauh berbeda. Tidak konstannya *rate* sulfur dikarenakan semakin lama proses pelapisan menyebabkan semakin meningkatnya deposit sulfur yang mengeras pada bagian *outlet* valve sehingga menyumbat aliran sulfur. Gambar 4.5 menunjukkan persen urea yang terlarut dalam air selama 7 hari pada suhu *bed* 70 °C.



Gambar 4.5 Pengaruh waktu pelapisan terhadap persen urea yang terlarut pada suhu *bed* 70°C

Berdasarkan gambar diatas, pada hari ke-1 jumlah urea yang terlarut semakin menurun untuk setiap kenaikan waktu pelapisan. Namun, pada hari ke-2 persen urea yang terlarut pada setiap waktu pelapisan memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Pada hari berikutnya hingga hari ke-7, persen urea terlarut paling

rendah ditunjukkan oleh waktu pelapisan 10 menit. Lebih rendahnya persen terlarut urea pada waktu pelapisan 10 menit dibandingkan waktu pelapisan 15 dan 20 menit dapat disebabkan oleh *rate* sulfur yang tidak konstan sehingga ketebalan lapisan yang terbentuk tidak jauh berbeda. Selain itu, *rate* udara *spout* yang tidak konstan menyebabkan sirkulasi partikel saat proses pelapisan tidak merata. Sirkulasi yang tidak merata tersebut mengakibatkan terdapatnya partikel urea yang tidak berkontak dengan sulfur sehingga tidak menambah deposit lapisan pada permukaannya. Gambar 4.6 menunjukkan persen urea yang terlarut dalam air selama 7 hari pada suhu *bed* 80°C



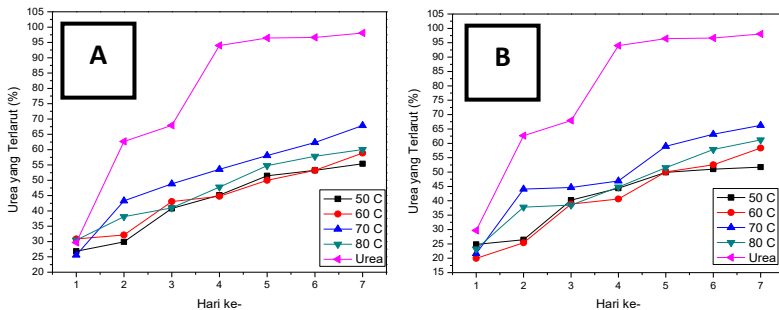
Gambar 4.6 Pengaruh waktu pelapisan terhadap persen urea yang terlarut pada suhu *bed* 80°C

Berdasarkan gambar 4.6 persen urea terlarut pada hari ke-1 untuk waktu pelapisan 10 hingga 20 menit memiliki nilai yang berbeda tipis. Kemudian pada hari ke-2 hingga hari ke-4 memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dan pada hari ke-5 hingga hari ke-7 persen urea terlarut waktu pelapisan 20 menit memiliki nilai yang lebih tinggi. Hal ini dapat disebabkan oleh sirkulasi *spout* yang tidak merata sehingga terdapat partikel urea yang tidak berkontak dengan *droplet* sulfur yang jatuh dari atas *bed*. Kurangnya kontak

antara sulfur dan urea menyebabkan deposit sulfur yang terbentuk pada permukaan partikel tidak bertambah dan mengakibatkan lapisan yang terbentuk tipis. Selain itu, dapat disebabkan pula oleh terbentuknya *crack* pada lapisan ketika kondisi operasi berlangsung pada suhu diatas 80°C (Weiss & Meisen, 1983). *Crack* tersebut menyebabkan kontak antara urea dengan air tidak terhambat sehingga proses difusi berlangsung lebih cepat. Dengan berlalunya waktu, urea yang berada dipermukaan terluar akan habis dan mengakibatkan lapisan yang telah memiliki *crack* akan hancur. Hancurnya lapisan sulfur semakin mempercepat proses difusi antara urea dengan air.

IV.3 Pengaruh Suhu *Bed*

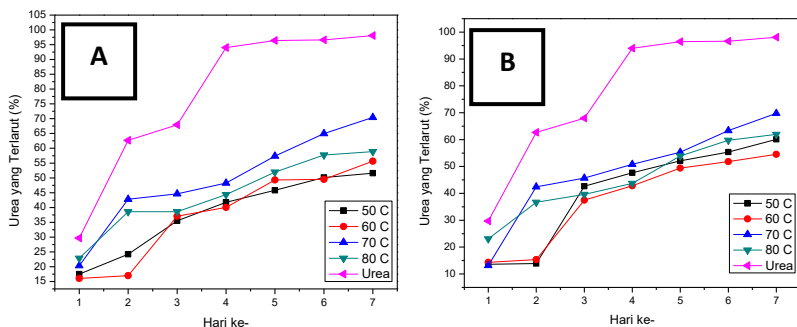
Suhu *bed* merupakan salah satu parameter yang paling mempengaruhi kualitas lapisan. Ketika suhu diatas 80°C akan terbentuk *crack* pada lapisan sedangkan ketika suhu dibawah 80°C *droplet* sulfur akan membeku lebih cepat sehingga menghambat proses penyebaran sulfur pada permukaan urea (M. M. Choi, 1986). Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh suhu *bed* terhadap persen urea yang terlarut selama 7 hari.



Gambar 4.7 Pengaruh suhu *bed* terhadap persen urea yang terlarut dengan waktu pelapisan (A) 5 menit dan (B) 10 menit

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa persen urea terlarut yang rendah dimiliki oleh produk pada suhu *bed* 50°C sedangkan urea terlarut paling tinggi dimiliki oleh suhu *bed* 70°C. Namun, jika melihat berat sulfur yang melapisi urea yang akan dibahas pada pembahasan selanjutnya berat sulfur paling tinggi dimiliki oleh suhu *bed* 70°C. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah sulfur yang melapisi urea tidak menjamin kualitas lapisannya. Persen urea terlarut yang tinggi pada produk suhu *bed* 70 °C dapat disebabkan oleh pelapisan yang tidak merata. Salah satu sisi urea memiliki lapisan yang tebal namun di sisi lain terdapat lapisan urea yang tipis. Hal tersebut dapat juga dilihat pada pembahasan selanjutnya yang memperlihatkan lapisan sulfur yang terbentuk pada produk dengan suhu *bed* 70°C lebih tipis dan tidak merata dibandingkan produk suhu *bed* 50°C.

Hasil yang tidak merata dapat disebabkan oleh sirkulasi *spout* yang tidak merata dikarenakan *rate* udara *spout* yang tidak konstan. Sirkulasi yang tidak merata mengakibatkan terdapat beberapa partikel urea yang tidak berkontak dengan sulfur sehingga deposit sulfur yang terbentuk pada permukaan urea tidak bertambah. Gambar 4.8 menunjukan pengaruh suhu *bed* terhadap persen urea yang terlarut selama 7 hari.



Gambar 4.8 Pengaruh suhu *bed* terhadap persen urea yang terlarut dengan waktu pelapisan (A) 15 menit dan (B) 20 menit

Berbeda dengan hasil pada gambar 4.8 (A) yang menunjukkan persen urea terlarut paling rendah yang dominan dimiliki produk pada suhu *bed* 50°C. Gambar 4.8 (B) menunjukkan urea terlarut paling rendah yang dominan dimiliki oleh produk suhu *bed* 60°C. Persen urea terlarut paling tinggi tetap dimiliki oleh produk suhu *bed* 70°C. Namun, jika dilihat berdasarkan persen terlarut paling rendah selama 7 hari suhu *bed* 50°C dan waktu pelapisan 15 menit memiliki nilai terendah. Lebih rendahnya urea yang terlarut pada suhu *bed* 50°C disebabkan lebih meratanya lapisan sulfur pada permukaan urea dibandingkan dengan suhu *bed* 70°C. Pada gambar 4.8 (B) dapat terlihat bahwa pada hari ke-1 persen urea terlarut produk suhu *bed* 50, 60 dan 70°C memiliki nilai yang berbeda tipis. Namun, untuk produk dengan suhu *bed* 80 °C selalu memiliki persen urea terlarut yang tinggi sejak hari ke-1. Hal ini dapat disebabkan oleh terbentuknya *crack* pada lapisan ketika kondisi operasi berlangsung pada suhu diatas 80 °C (Weiss & Meisen, 1983). *Crack* tersebut mempercepat proses difusi antara urea dengan air melalui celah-celah kecil yang terbentuk sehingga mempercepat proses terlarutnya urea sejak hari ke-1.

IV.4 Difusivitas Sulfur Coated Urea

Molecular difusi berkaitan dengan pergerakan molekul individu melalui zat berdasarkan energi termal. Pada penelitian ini, kami menghitung laju difusi urea yang tidak dilapisi oleh sulfur dan laju difusi urea yang dilapisi oleh sulfur atau biasa disebut *sulfur coated urea* (SCU). Perhitungan yang kami lakukan menggunakan persamaan *Fick's Law*, dimana persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$J_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dr}$$

Persamaan diatas diturunkan sehingga menghasilkan persamaan sebagai berikut:

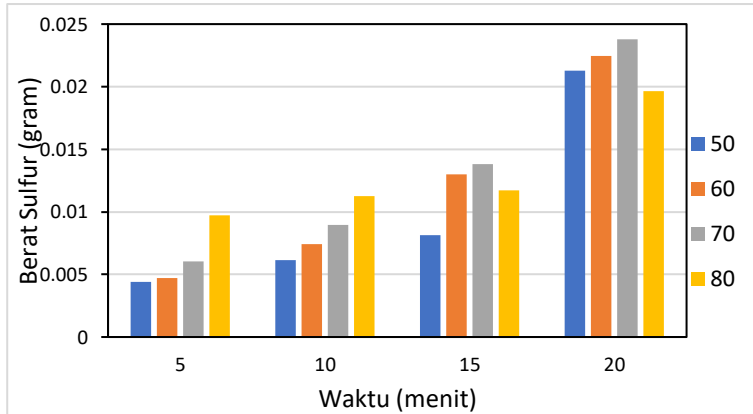
$$\ln \frac{C_A^* - C_A}{C_A^* - C_A^0} = - \frac{4 \cdot \pi \cdot R \cdot D_{AB} \cdot N}{V} t$$

Dari persamaan diatas dihasilkan beberapa grafik. *Slope* dari grafik tersebut digunakan untuk menghitung nilai difusivitas (D_{AB}). Hasil dari perhitungan didapatkan nilai difusivitas *sulfur coated urea* (SCU) sebesar $0.01429 \text{ m}^2/\text{hari}$ ($1.6534 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$), sedangkan nilai difusivitas urea murni sebesar $0.02189 \text{ m}^2/\text{hari}$ ($2.5337 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$). Berdasarkan hasil tersebut difusivitas *sulfur coated urea* (SCU) lebih kecil dibandingkan dengan urea murni. Difusivitas SCU yang lebih kecil dari difusivitas urea murni dikarenakan adanya lapisan sulfur yang melapisi permukaan urea. Hal ini, menyebabkan ukuran partikel dan ketebalan membran pada SCU lebih besar dibandingkan dengan ukuran partikel dan ketebalan membran pada urea murni, sehingga waktu yang diperlukan untuk terjadinya proses difusi menjadi lebih lama. Secara teori hal yang mempengaruhi proses difusi adalah kelarutan, dimana semakin kecil difusivitas semakin kecil pula laju terlarutnya dan begitupun sebaliknya. Ketika laju urea yang terlarut dalam air kecil, maka nitrogen yang terlarut dalam air pun kecil, sehingga penyerapan nitrogen oleh tanaman menjadi lebih efektif. Hal ini sesuai dengan teori bahwa urea yang dilapisi dengan sulfur (SCU) dapat menghambat laju terlarutnya urea dalam air atau disebut dengan *slow release fertilizer* (SRF).

IV.5 Berat Sulfur yang Melapisi Urea

Pada proses pelapisan urea, sulfur dihamburkan melalui *sprayer* sehingga, menghasilkan *droplet-droplet* kecil. *Droplet-droplet* tersebut kemudian berkontak dengan partikel urea dan membentuk lapisan pada kulit luar partikel. Ketebalan lapisan sulfur dipengaruhi oleh waktu pelapisan dan *rate* sulfur yang melalui *sprayer*. Semakin tinggi *rate* sulfur dan lama waktu pelapisan akan menyebabkan ketebalan lapisan sulfur semakin meningkat. Untuk mengetahui jumlah sulfur yang melapisi urea, sebanyak 10 butir urea dan produk secara acak kemudian, urea dan produk tersebut ditimbang. Penimbangan dilakukan sebanyak 5 kali dan diambil rata-rata berat dari setiap produk. Selisih antara berat produk dan berat urea merupakan berat sulfur yang melapisi

urea. Gambar 4.9 menunjukkan pengaruh waktu pelapisan dan suhu *bed* terhadap jumlah sulfur yang melapisi urea.



Gambar 4.9 Berat sulfur yang melapisi urea terhadap temperature dan waktu pelapisan

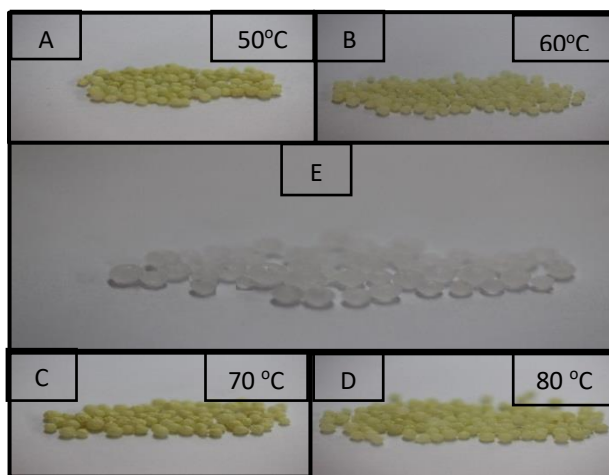
Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa secara keseluruhan berat sulfur semakin meningkat untuk setiap kenaikan waktu pelapisan. Dari gambar diatas dapat diketahui, terdapat perbedaan berat antara suhu 50, 60, 70 dan 80°C. Hal tersebut dapat disebabkan oleh tidak konstannya *rate* sulfur pada setiap kondisi operasi. Berat sulfur tertinggi dimiliki oleh produk suhu *bed* 70°C dengan waktu pelapisan 20. Namun, pada pembahasan sebelumnya, diketahui bahwa laju urea yang terlarut produk suhu *bed* 70°C memiliki nilai yang tertinggi dibandingkan suhu *bed* 50 dan 60°C yang memiliki berat sulfur yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan pada saat proses pelapisan suhu *bed* 70°C, urea tidak tersirkulasi merata sehingga terdapat banyak urea yang belum terlapisi sulfur.

Tidak meratanya sirkulasi disebabkan oleh pemanasan udara dimulai ketika partikel urea telah dimasukkan ke dalam kolom kaca sehingga udara *spout* yang masuk ke dalam kolom kaca masih basah. Udara basah tersebut menyebabkan banyak partikel

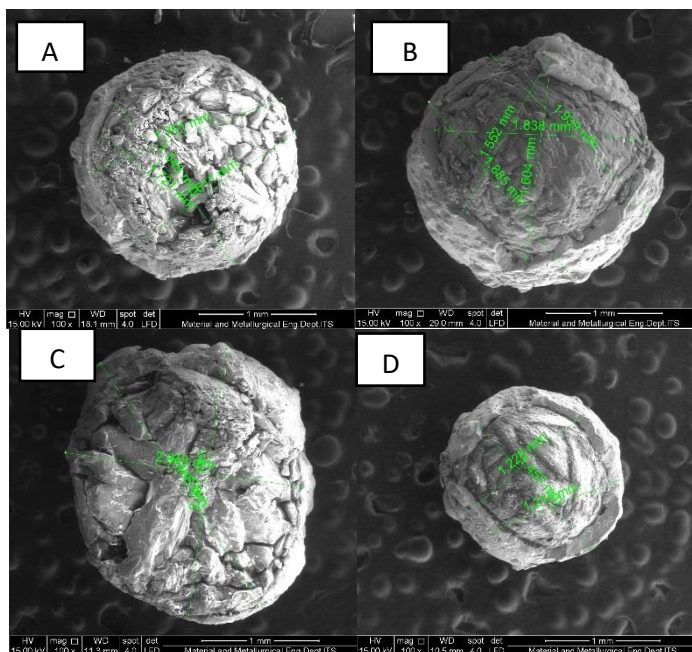
urea yang menempel pada dinding kaca kerucut. Hal ini menyebabkan tidak meratanya sirkulasi partikel urea sehingga hanya partikel yang tidak menempel pada kolom kaca saja yang tersirkulasi dan mengalami kontak berkali-kali dengan sulfur.

IV.6 Morfologi Produk

Urea yang dilapisi oleh sulfur secara fisik berubah warna dari putih menjadi kuning. Warna kuning tersebut merupakan sulfur yang melapisi permukaan urea. Gambar 4.10 menunjukkan perubahan fisik urea sebelum dilapisi dan setelah dilapisi oleh sulfur. Pada gambar 4.10(A) SCU pada suhu *bed* 50 °C dengan waktu pelapisan 20 menit terlihat lebih tebal dan lebih kuning dibanding gambar 4.10 (B), (C), dan (D). Pada pembahasan sebelumnya, sulfur yang paling berat dan persen urea terlarut yang paling rendah terdapat pada suhu *bed* 50 °C dengan waktu pelapisan 15 menit. Hal ini sesuai dengan bentuk fisik produk yang dihasilkan, dimana produk pada suhu *bed* 50 °C memiliki warna yang lebih kuning dan lapisan sulfurnya lebih merata dibandingkan produk pada kondisi operasi yang lain.



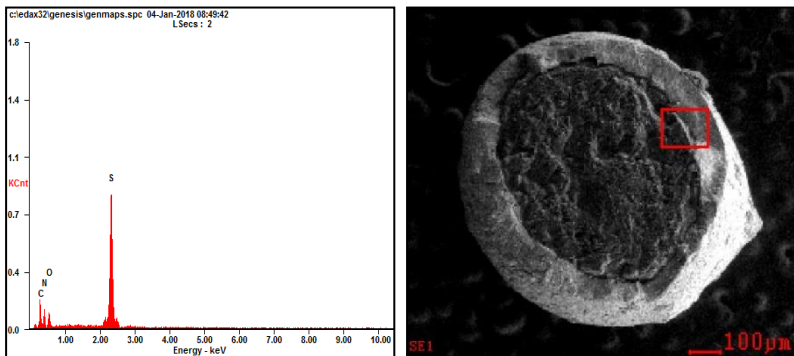
Gambar 4.10 Penampakan secara fisik urea yang tidak dilapisi oleh sulfur (E) dan dilapisi oleh sulfur (A-D)



Gambar 4.11 SEM produk SCU pada waktu pelapisan 20 menit dengan suhu *bed* 50°C (A), 60°C (B), 70°C (C), 80°C (D)

Pada penelitian ini kami melakukan uji SEM pada urea yang telah dilapisi sulfur untuk mengetahui ketebalan dari sulfur yang melapisi permukaan urea. Pada gambar 4.11 urea yang telah dilapisi sulfur dipotong secara manual menggunakan *cutter*. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa permukaan urea terlapisi oleh sulfur, tetapi sulfur yang melapisi urea tidak merata, dimana ada bagian permukaan urea yang memiliki lapisan sulfur yang tebal dan ada bagian permukaan urea yang memiliki lapisan sulfur yang tipis. Perbedaan ketebalan tersebut dikarenakan *rate* sulfur yang digunakan pada penelitian tidak konstan. Untuk mengetahui ketebalan sulfur yang melapisi urea dilakukan pengukuran pada hasil SEM yang dapat dilihat pada gambar 4.11, dimana diameter rata-rata SCU pada setiap kondisi operasi dikurangi dengan

diameter rata-rata ureanya. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh tebal sulfur 50, 60, 70 dan 80°C sebesar 0.2437, 0.2618, 0.2673 dan 0.045 secara berurutan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tebal sesuai dengan data berat sulfur pada pembahasan sebelumnya, yaitu berat sulfur mengindikasikan tebal sulfur yang melapisi urea. Namun, jika mengacu pada persen urea terlarut dapat terlihat pada gambar 4.11 sulfur yang melapisi urea 70°C tebal tetapi lapisan yang terbentuk tidak merata pada seluruh permukaan partikel. Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa tingginya persen urea terlarut pada suhu *bed* 70°C walaupun sulfur yang melapisi lebih berat disebabkan oleh lapisan yang tidak merata. Untuk lebih memastikan bahwa yang melapisi urea tersebut benar-benar sulfur, kami juga melakukan pengujian kandungan senyawa pada SCU. Bagian yang diuji pada SCU adalah bagian antara urea dan sulfurnya. Hasil pengujian dan komposisi yang terdapat pada lapisan dapat dilihat pada gambar 4.12 dan tabel 4.1.



Gambar 4.12 Kandungan senyawa pada pelapis SCU

Tabel 4.1 Komposisi senyawa pada pelapis SCU

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	<i>21.70</i>	<i>32.21</i>
<i>NK</i>	<i>23.79</i>	<i>30.28</i>
<i>OK</i>	<i>12.90</i>	<i>14.37</i>
<i>SK</i>	<i>41.60</i>	<i>23.13</i>

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Produk SCU yang dihasilkan memiliki persen urea terlarut yang lebih rendah dibandingkan dengan urea murni.
2. Persen urea terlarut selama 7 hari paling rendah dihasilkan pada suhu 50°C dan waktu pelapisan 15 menit.
3. Waktu pelapisan berpengaruh terhadap berat sulfur yang melapisi urea tetapi tidak terlalu mempengaruhi laju urea terlarut dalam air.
4. Banyaknya sulfur yang melapisi urea tidak terlalu berpengaruh terhadap laju kelarutan urea dalam air.

V.2 Saran

Untuk memperoleh hasil yang lebih baik pada penelitian selanjutnya, dapat dilakukan beberapa syarat:

1. Perlu ditambahkan *flowmeter* untuk mengatur aliran sulfur dan udara *spout* agar aliran tetap konstan.
2. Mencoba penelitian serupa dengan melakukan pengamatan terhadap *rate* sulfur dan *rate* udara atomisasi.
3. Mencoba melakukan penelitian serupa. Namun, kontak yang terjadi antara sulfur dan urea dibuat *co-current*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S., & Danafar, F. (2015). Controlled-Release Fertilizers: Advances and Challenges. *Life Science*, 12(11), 30–31.
- Ardyati, Meritia, Dany Pratama Putra, Jurusan Teknik Kimia, dan Fakultas Teknologi Industri. 2012. “Pelapisan Urea Dengan Sulfur Dalam Spouted Bed.” 1(1):1–3.
- Chaudhuri, R. G., & Paria, S. (2010). Synthesis of sulfur nanoparticles in aqueous surfactant solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 343(2), 439–446.
- da Rosa, G. S., & dos Santos Rocha, S. C. (2010). Effect of process conditions on particle growth for spouted bed coating of urea. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(8), 836–842.
- Choi, M. M. (1986). SULFUR COATING OF UREA IN SHALLOW SPOUTED BEDS, 244.
- Choi, M. M. S., & Meisen, A. (1997). Sulfur coating of urea in shallow spouted beds. *Chemical Engineering Science*, 52(7), 1073–1086.
- Heenan, D. P., & P.E., B. (1987). *Efficiency of Nitrogen Fertilizer Timing on Crop Growth and Nitrogen Use Efficiency by Different Tice varieties in Southeastern Australia. Efficiency of Fertilizers for Rice.*
- Liu, L. X., & Litster, J. D. (1993). Spouted bed seed coating: The effect of process variables on maximum coating rate and elutriation. *Powder Technology*, 74(3), 215–230.
- Mathur, K. B., & Epstein, N. (1974). Spouted Beds, 304.
- Naz, M. Y., & Sulaiman, S. A. (2016). Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: A review. *Journal of Controlled Release*, 225, 109–120.
- Tobolsky, A. V. (1966). Polymeric Sulfur and Related Polymers*. *Journal of Polymer Science: Part C*, 12(1), 71–18.
- Trenkel. (2013). *Slow and Controlled-Release and stabilized Fertilizers. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53).

- Tsai, B. S. E. (1986). Continuous Spouted Bed Process for Sulphur-Coating Urea.
- Tzika, M., Alexandridou, S., & Kiparissides, C. (2003). Evaluation of the morphological and release characteristics of coated fertilizer granules produced in a Wurster fluidized bed. *Powder Technology*, 132(1), 16–24.
- Weiss, P. J., & Meisen, A. (1983). Laboratory Studies on Sulfur-Coating Urea by the Spouted Bed Process. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 61, 440–447.

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
C_A	Konsentrasi urea terlarut selama 7 hari	gr/m ³
C_A^*	Konsentrasi urea jenuh pada 38°C, 50ml air	gr/m ³
C_A^0	Konsentrasi urea terlarut pada hari ke-0	gr/m ³
D	Diameter kolom	m
D_{AB}	Difusivitas A dalam B	m ² /s
d_i	Diameter pipa udara <i>spout</i>	m
d_p	Diameter partikel	m
g	Percepatan gravitasi	m/s ⁻²
H	Tinggi <i>bed</i>	m
J_A	Fluks massa A	gr/s.m ²
N	Jumlah partikel	butir
n_D	Indeks refraktif	-
ρ	Densitas udara <i>spout</i>	gr/m ³
ρ_p	Densitas partikel	gr/m ³
R	Jari-jari partikel urea	m
T_b	Suhu <i>bed</i>	°C
t	Waktu kelarutan urea	hari
V	Volume larutan	m ³

APPENDIKS A DATA HASIL PENELITIAN

Tabel 1 Indeks refraktif SCU dan urea murni

Suhu	Waktu	Indeks Refraktif						
°C	Menit	1 hari	2 hari	3 hari	4 hari	5 hari	6 hari	7 hari
50	5	1.3699	1.3713	1.3763	1.3783	1.3812	1.382	1.383
	10	1.3684	1.3691	1.3751	1.3769	1.3793	1.3798	1.3801
	15	1.3649	1.3677	1.3724	1.375	1.3767	1.3785	1.3791
	20	1.3622	1.3623	1.372	1.3737	1.3752	1.3763	1.3779
60	5	1.3718	1.3724	1.3774	1.3782	1.3806	1.3821	1.3847
	10	1.3665	1.3689	1.3749	1.3757	1.3799	1.381	1.3836
	15	1.3647	1.3651	1.374	1.3753	1.3794	1.3795	1.3822
	20	1.3635	1.3639	1.373	1.3752	1.3779	1.3789	1.38
70	5	1.3673	1.374	1.3761	1.3779	1.3796	1.3812	1.3833
	10	1.3653	1.3733	1.3735	1.3743	1.3786	1.3801	1.3812
	15	1.3643	1.3717	1.3723	1.3735	1.3765	1.379	1.3808
	20	1.3617	1.3708	1.3718	1.3734	1.3748	1.3773	1.3793
80	5	1.3715	1.375	1.3763	1.3794	1.3826	1.384	1.385
	10	1.3679	1.3744	1.3747	1.3775	1.3805	1.3833	1.3848
	15	1.3675	1.3743	1.3743	1.3768	1.3801	1.3826	1.3831
	20	1.3671	1.3727	1.3739	1.3756	1.3798	1.3822	1.3831
Urea		1.3722	1.3884	1.391	1.4038	1.405	1.4051	1.4051

Tabel 2 Konsentrasi urea terlarut

Suhu	Waktu	Konsentrasi Urea yang Terlarut (gr/ml)						
°C	Menit	1 hari	2 hari	3 hari	4 hari	5 hari	6 hari	7 hari
50	5	2.5025	2.7873	3.8045	4.2114	4.8013	4.9641	5.1675
	10	2.1973	2.3397	3.5603	3.9265	4.4148	4.5165	4.5775
	15	1.4853	2.0549	3.0111	3.5400	3.8858	4.2520	4.3741
	20	0.9360	0.9563	2.9297	3.2755	3.5807	3.8045	4.1300
60	5	2.8890	3.0111	4.0283	4.1910	4.6793	4.9844	5.5134
	10	1.8108	2.2990	3.5197	3.6824	4.5369	4.7606	5.2896
	15	1.4446	1.5259	3.3366	3.6010	4.4351	4.4555	5.0048
	20	1.2004	1.2818	3.1331	3.5807	4.1300	4.3334	4.5572
70	5	1.9735	3.3366	3.7638	4.1300	4.4758	4.8013	5.2286
	10	1.5666	3.1942	3.2348	3.3976	4.2724	4.5775	4.8013
	15	1.3632	2.8686	2.9907	3.2348	3.8452	4.3538	4.7200
	20	0.8342	2.6856	2.8890	3.2145	3.4993	4.0079	4.4148
80	5	2.8280	3.5400	3.8045	4.4351	5.0861	5.3710	5.5744
	10	2.0956	3.4179	3.4790	4.0486	4.6589	5.2286	5.5337
	15	2.0142	3.3976	3.3976	3.9062	4.5775	5.0861	5.1879
	20	1.9328	3.0721	3.3162	3.6621	4.5165	5.0048	5.1879
Urea		2.9704	6.2661	6.7950	9.3991	9.6432	9.6635	9.6635

Tabel 3 Persen kelarutan urea selama 7 hari

Suhu	Waktu	Kelarutan Urea (gr/50ml)						
(C)	(Menit)	1	2	3	4	5	6	7
50	5	26.8357	29.89	40.79819	45.16147	51.48822	53.23353	55.41517
	10	24.82764	26.43674	40.22897	44.36664	49.88353	51.03288	51.72249
	15	17.51089	24.22674	35.49978	41.73593	45.81341	50.13075	51.56986
	20	13.6232	13.91931	42.64206	47.67594	52.11761	55.37483	60.1126
60	5	30.86266	32.16665	43.03325	44.7719	49.98786	53.24784	58.89847
	10	19.98256	25.37069	38.84101	40.63705	50.06628	52.53584	58.37298
	15	16.05771	16.96228	37.08896	40.02881	49.30065	49.52679	55.63264
	20	14.3571	15.33034	37.47169	42.82454	49.39395	51.82706	54.50349
70	5	25.61306	43.30327	48.84796	53.60055	58.08911	62.31364	67.85833
	10	21.62005	44.08037	44.64188	46.88791	58.96034	63.17165	66.25994
	15	20.3419	42.8067	44.62817	48.27111	57.37846	64.96792	70.43233
	20	13.18594	42.44724	45.66277	50.80761	55.30935	63.34817	69.77922
80	5	30.45894	38.12806	40.9766	47.76925	54.78102	57.84867	60.03985
	10	23.18064	37.80819	38.48331	44.78441	51.53559	57.83669	61.21227
	15	22.86032	38.56124	38.56124	44.33363	51.95319	57.72559	58.88007
	20	23.07546	36.67683	39.59141	43.72039	53.92142	59.75058	61.93651

Tabel 4 Berat sulfur yang melapisi urea

Kondisi Operasi		Berat SCU (gram)						Berat sulfur (gram)
Suhu	Waktu	1	2	3	4	5	Rata-rata	
50°C	5 menit	0.0318	0.025	0.0301	0.031	0.0262	0.02882	0.0044
	10 menit	0.0302	0.0319	0.0332	0.0286	0.029	0.03058	0.00616
	15 menit	0.0325	0.034	0.0341	0.0321	0.03	0.03254	0.00812
	20 menit	0.0411	0.0435	0.0573	0.0418	0.0447	0.04568	0.02126
60°C	5 menit	0.0354	0.0239	0.0238	0.0302	0.0323	0.02912	0.0047
	10 menit	0.0275	0.0282	0.0249	0.0415	0.037	0.03182	0.0074
	15 menit	0.0365	0.0455	0.0409	0.0345	0.0297	0.03742	0.013
	20 menit	0.0343	0.0471	0.0658	0.0464	0.0409	0.0469	0.02248
70°C	5 menit	0.0368	0.0355	0.0266	0.0254	0.0281	0.03048	0.00606
	10 menit	0.0391	0.0258	0.0317	0.0287	0.0417	0.0334	0.00898
	15 menit	0.0352	0.0455	0.0377	0.0393	0.0335	0.03824	0.01382
	20 menit	0.0514	0.0535	0.0373	0.0513	0.0476	0.04822	0.0238
80°C	5 menit	0.0303	0.0349	0.0382	0.0303	0.0369	0.03412	0.0097
	10 menit	0.0276	0.0474	0.0327	0.0333	0.0373	0.03566	0.01124
	15 menit	0.037	0.0392	0.0326	0.0393	0.0326	0.03614	0.01172
	20 menit	0.0479	0.0358	0.053	0.0453	0.0384	0.04408	0.01966
Urea		0.0198	0.0305	0.0242	0.0257	0.0219	0.02442	

APPENDIKS B PERHITUNGAN

- Perhitungan Kecepatan Minimum Fluidisasi**

$$U_{ms} = \frac{d_p}{D} \left(\frac{d_i}{D} \right)^{\frac{1}{3}} \sqrt{2gH \frac{\rho_p - \rho}{\rho}}$$

Keterangan:

d_p = Diameter partikel (m)

d_i = Diameter dalam pipa udara spout (m)

D = Diameter kolom (m)

g = Percepatan gravitasi (9.81 m/s^2)

H = Tinggi tumpukan partikel (m)

ρ_p = Densitas partikel (g/m^3)

ρ = Densitas (g/m^3)

Tabel 1 Parameter operasi pelapisan

Parameter	
d_p	0,001501
d_i	0,05
D	0,15
ρ_p	1.320.000
ρ	1.000
H	0,143
T	50-80°C

Berdasarkan persamaan diatas diperoleh kecepatan minimum fluidisasi (U_{ms}) sebesar 0.4221 m/s

- **Perhitungan Difusivitas**

$$J_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dr} \rightarrow \text{Fick's Law}$$

Conservation Law

In – Out + Generation = Accumulation

* Generation = 0

* Accumulation = 0

In – Out = 0

$$(J_A \cdot A_S)_r - (J_A \cdot A_S)_{r+\Delta r} = 0$$

$$(J_A \cdot 4\pi r^2)_r - (J_A \cdot 4\pi r^2)_{r+\Delta r} = 0 \rightarrow \text{dibagi } 4\pi r^2 \Delta r$$

$$-\frac{1}{r^2} \left[\frac{(J_A \cdot r^2)_{r+\Delta r} - (J_A \cdot r^2)_r}{\Delta r} \right] = 0, \text{ dengan } \lim \Delta r \rightarrow 0$$

maka,

$$-\frac{1}{r^2} \frac{d[J_A \cdot r^2]}{dr} = 0$$

$$J_A \cdot r^2 = K_1$$

$$J_A = \frac{K_1}{r^2} \rightarrow \text{masukkan ke Fick's Law}$$

$$-D_{AB} \frac{dC_A}{dr} = \frac{K_1}{r^2}$$

$$\int_{C_A^*}^{C_A} dC_A = -\frac{K_1}{D_{AB}} \int_R^\infty dr$$

$$C_A - C_A^* = -\frac{K_1}{D_{AB}} \left[-\frac{1}{r} \right]_R^\infty$$

$$C_A - C_A^* = \frac{K_1}{D_{AB}} \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{R} \right)$$

$$C_A - C_A^* = -\frac{K_1}{D_{AB}} \left(\frac{1}{R} \right)$$

Karena $J_A = w_A \cdot 4\pi r^2$, maka

$$J_A = \frac{K_1}{r^2} = w_A \cdot 4\pi r^2$$

$$K_1 = w_A \cdot 4\pi$$

sehingga,

$$C_A - C_A^* = -\frac{K_1}{D_{AB}} \left(\frac{1}{R} \right)$$

$$C_A - C_A^* = -\frac{w_A \cdot 4\pi}{D_{AB}} \left(\frac{1}{R} \right)$$

$$w_A \cdot 4\pi = (C_A^* - C_A) \cdot D_{AB} \cdot R \rightarrow \text{satu butir urea}$$

$$w_A \cdot 4\pi = (C_A^* - C_A) \cdot D_{AB} \cdot R \cdot N \rightarrow N \text{ butir urea}$$

$$w_A = 4\pi \cdot R \cdot D_{AB} \cdot (C_A^* - C_A) N$$

$$V \frac{dC_A}{dt} = 4\pi \cdot R \cdot D_{AB} \cdot (C_A^* - C_A) \cdot N$$

$$\int_{C_A^0}^{C_A^*} V \frac{dC_A}{C_A^* - C_A} = \int_0^t 4\pi \cdot R \cdot D_{AB} \cdot N \, dt$$

$$-V \ln \frac{C_A^* - C_A}{C_A^* - C_A^0} = 4\pi \cdot R \cdot D_{AB} \cdot N \cdot t$$

$$\ln \frac{C_A^* - C_A}{C_A^* - C_A^0} = -\frac{4\pi \cdot R \cdot D_{AB} \cdot N}{V} t$$

Dibuat grafik dengan :

Sumbu x $\rightarrow t$

$$\text{Sumbu y} \rightarrow \ln \frac{C_A^* - C_A}{C_A^* - C_A^0}$$

$$\text{Slope} \rightarrow -\frac{4\pi \cdot R \cdot D_{AB} \cdot N}{V}$$

Keterangan:

C_A^* = Kelarutan Urea pada $38^\circ\text{C} = 78.9\text{gr} / 50\text{ml air}$

C_A = Urea yang terlarut selama 7 hari

C_A^0 = Urea yang terlarut selama 0 hari

R = Jari - jari Urea

V = Volume larutan

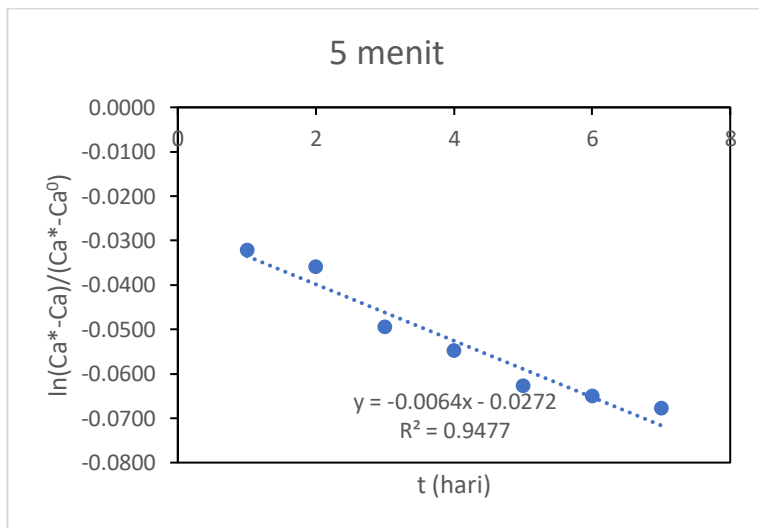
N = Jumlah butir urea

Tabel 2 $\ln(\text{Ca}^* - \text{Ca}) / (\text{Ca}^* - \text{Ca}^0)$ pada tiap kondisi operasi

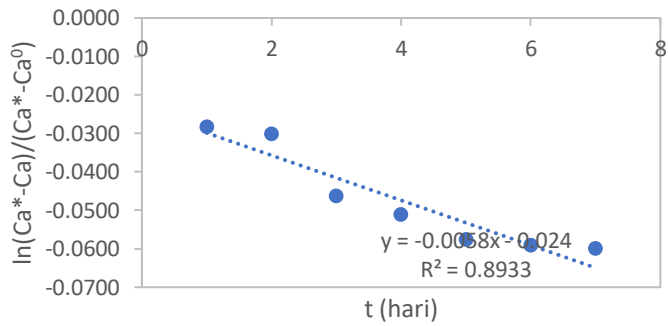
Suhu	Waktu	$\ln(\text{Ca}^* - \text{Ca}) / (\text{Ca}^* - \text{Ca}^0)$						
$^\circ\text{C}$	Menit	1 hari	2 hari	3 hari	4 hari	5 hari	6 hari	7 hari
50	5	-0.0322	-0.0360	-0.0494	-0.0549	-0.0628	-0.0650	-0.0677
	10	-0.0282	-0.0301	-0.0462	-0.0510	-0.0576	-0.0589	-0.0598
	15	-0.0190	-0.0264	-0.0389	-0.0459	-0.0505	-0.0554	-0.0570
	20	-0.0119	-0.0122	-0.0378	-0.0424	-0.0464	-0.0494	-0.0538
60	5	-0.0373	-0.0389	-0.0524	-0.0546	-0.0611	-0.0653	-0.0724
	10	-0.0232	-0.0296	-0.0456	-0.0478	-0.0592	-0.0622	-0.0694
	15	-0.0185	-0.0195	-0.0432	-0.0467	-0.0579	-0.0581	-0.0655
	20	-0.0153	-0.0164	-0.0405	-0.0464	-0.0538	-0.0565	-0.0595
70	5	-0.0253	-0.0432	-0.0489	-0.0538	-0.0584	-0.0628	-0.0686
	10	-0.0201	-0.0413	-0.0419	-0.0440	-0.0557	-0.0598	-0.0628
	15	-0.0174	-0.0370	-0.0386	-0.0419	-0.0500	-0.0568	-0.0617
	20	-0.0106	-0.0346	-0.0373	-0.0416	-0.0454	-0.0521	-0.0576
80	5	-0.0365	-0.0459	-0.0494	-0.0579	-0.0666	-0.0705	-0.0733
	10	-0.0269	-0.0443	-0.0451	-0.0527	-0.0609	-0.0686	-0.0727
	15	-0.0259	-0.0440	-0.0440	-0.0508	-0.0598	-0.0666	-0.0680
	20	-0.0248	-0.0397	-0.0429	-0.0475	-0.0589	-0.0655	-0.0680

Urea	-0.0384	-0.0827	-0.0901	-0.1268	-0.1304	-0.1307	-0.1307
------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

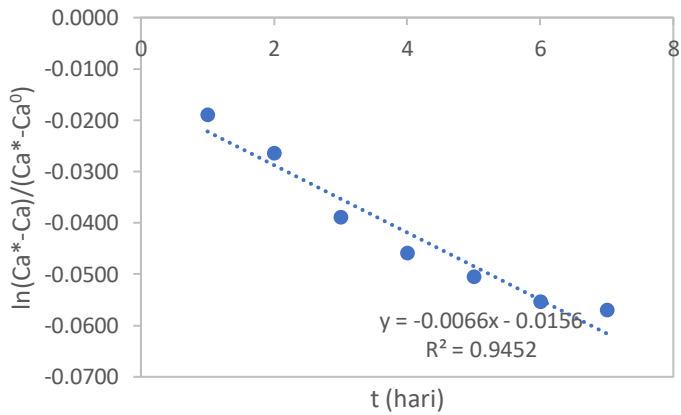
Dari tabel 3 dibuat grafik $\ln(Ca^*-Ca)/(Ca^*-Ca^0)$ vs t , sehingga didapatkan *slope* untuk masing-masing suhu *bed* dan waktu pelapisan.

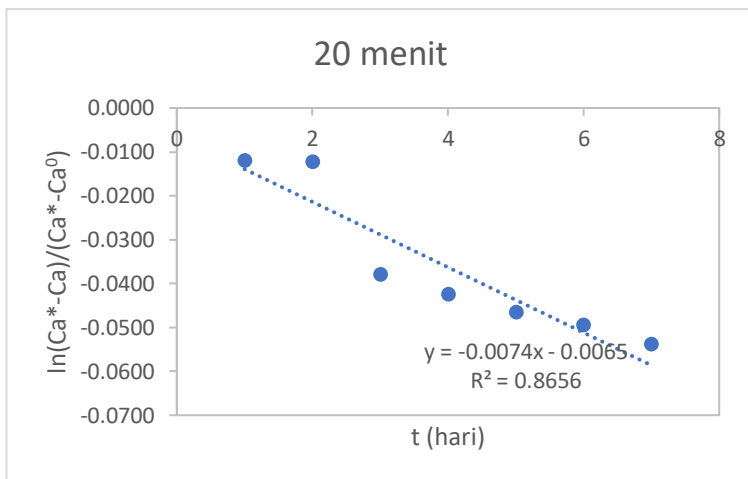


10 menit

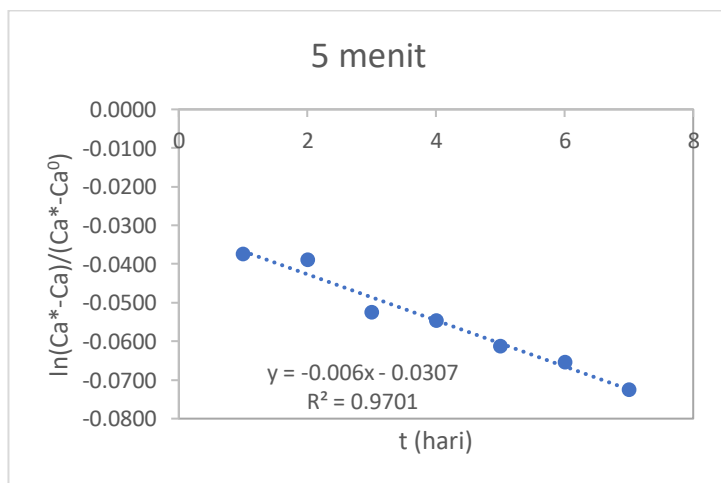


15 menit

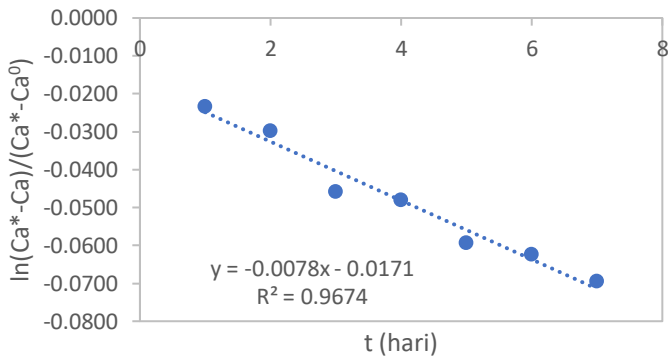




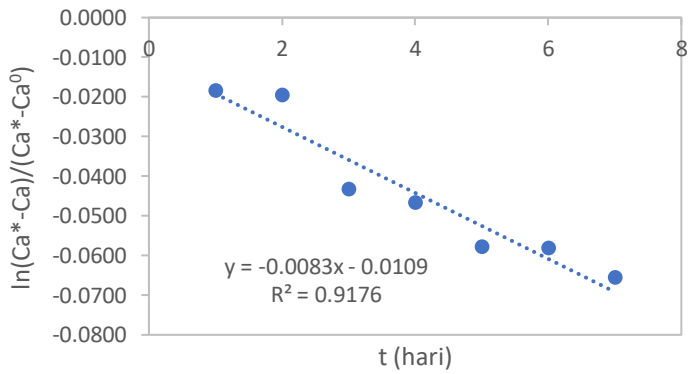
Gambar 1 Persamaan Regresi pada suhu 50°C dengan waktu pelapisan 5-20 menit

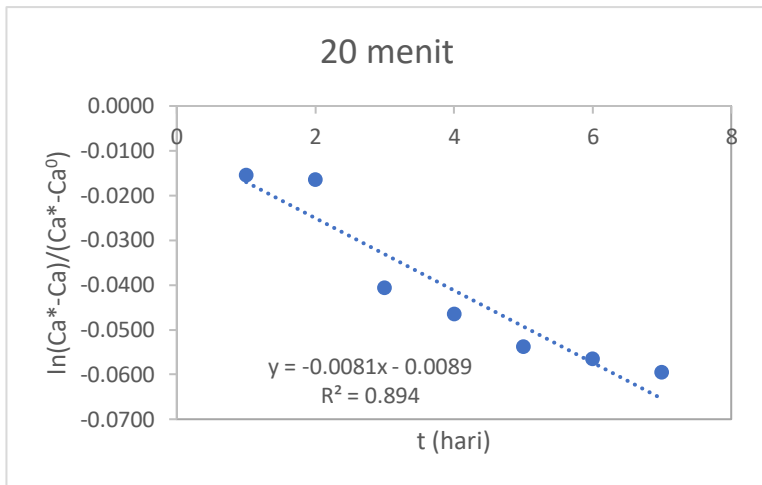


10 menit

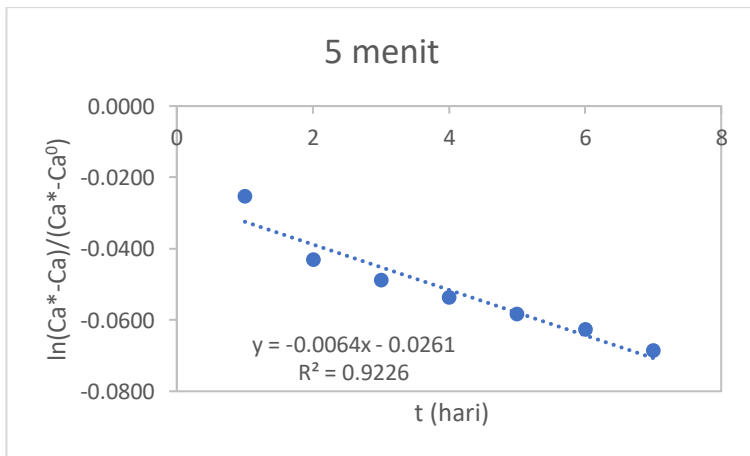


15 menit

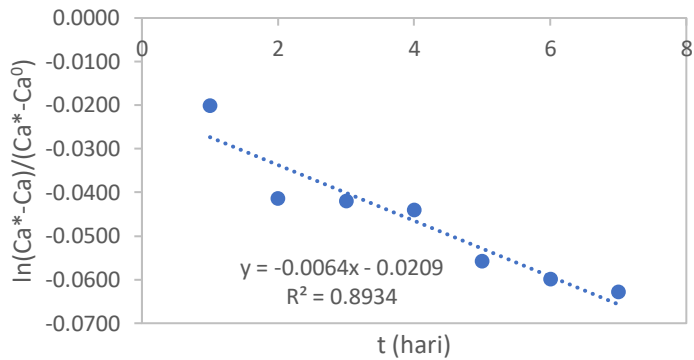




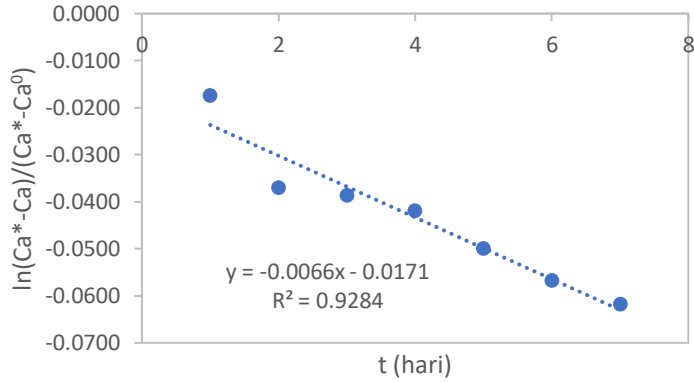
Gambar 2 Persamaan Regresi pada suhu 60°C dengan waktu pelapisan 5-20 menit

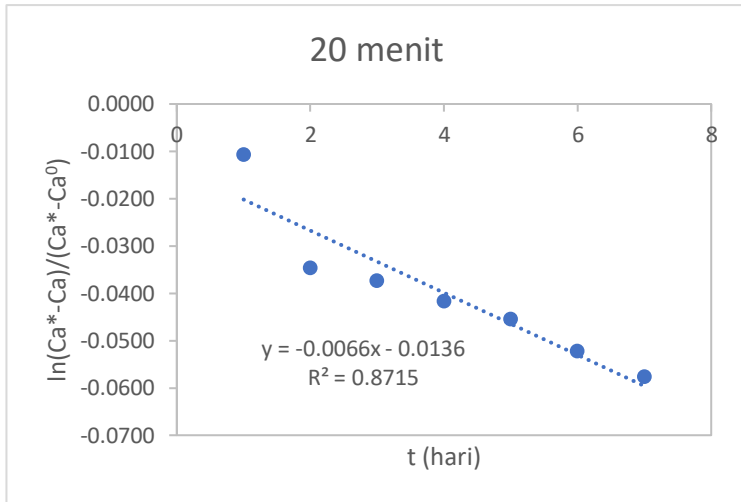


10 menit

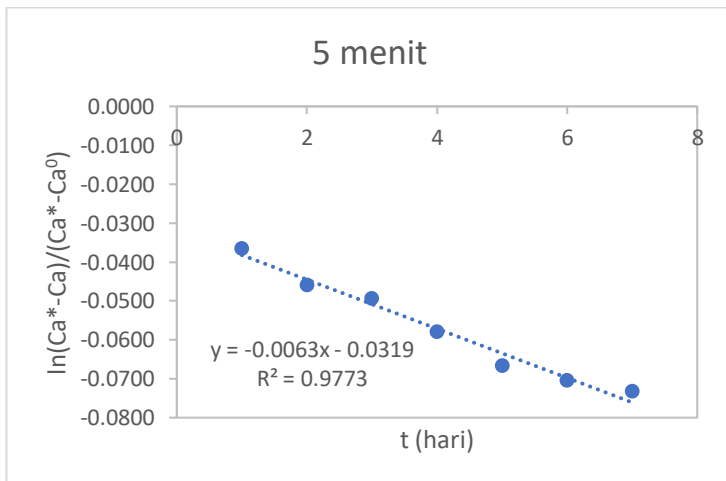


15 menit

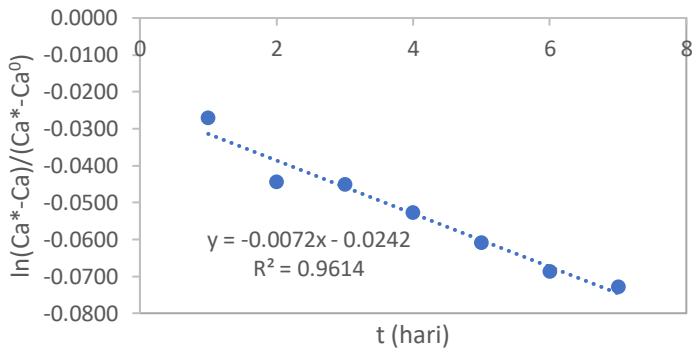




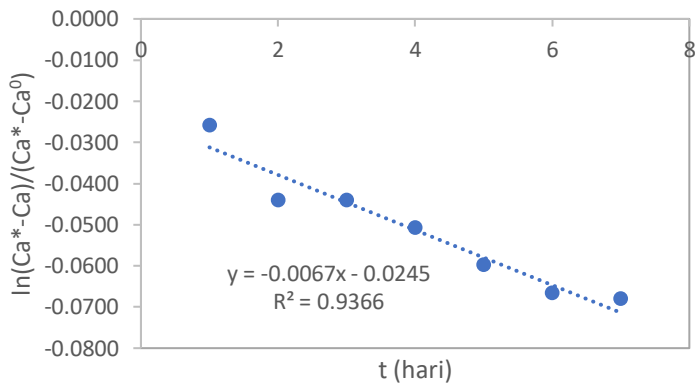
Gambar 3 Persamaan Regresi pada suhu 70°C dengan waktu pelapisan 5-20 menit

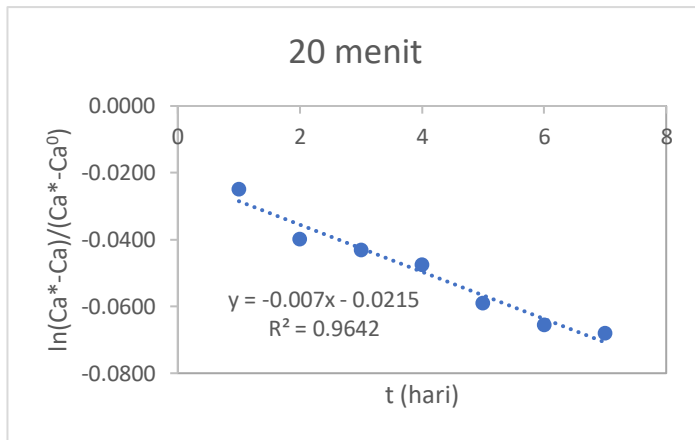


10 menit

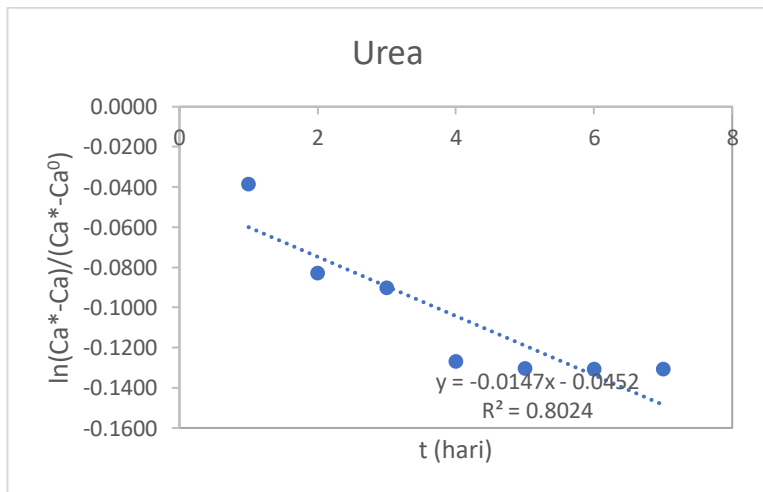


15 menit





Gambar 4 Persamaan Regresi pada suhu 80°C dengan waktu pelapisan 5-20 menit



Gambar 5 Persamaan Regresi Urea Sebelum Dilapisi Sulfur (Blanko)

Slope yang dihasilkan pada masing masing grafik dimasukkan ke persamaan *slope* yang telah diturunkan sebelumnya, yaitu:

$$Slope = - \frac{4.\pi. R. D_{AB}.N}{V}$$

$$D_{AB} = - \frac{Slope. V}{4.\pi. R. N}$$

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan diatas, didapatkan nilai D_{AB} pada tiap kondisi operasi. Nilai D_{AB} ditabelkan pada tabel 4. Nilai D_{AB} SCU (*Sulfur Coated Urea*) didapatkan dari nilai rata-rata D_{AB} pada keseluruhan kondisi operasi.

Tabel 3 Difusivitas SCU dan Urea

Suhu	Waktu	<i>Slope</i>	D_{AB} (m ² /hari)
°C	Menit		
50	5	-0.0064	0.01335
	10	-0.0058	0.01210
	15	-0.0066	0.01376
	20	-0.0074	0.01543
60	5	-0.006	0.01251
	10	-0.0078	0.01627
	15	-0.0083	0.01731
	20	-0.0081	0.01689
70	5	-0.0064	0.01335
	10	-0.0064	0.01335
	15	-0.0066	0.01376
	20	-0.0066	0.01376
80	5	-0.0063	0.01314

	10	-0.0072	0.01502
	15	-0.0067	0.01397
	20	-0.007	0.01460
		D_{AB} Rata-rata (D_{AB} SCU)	0.01429
		D_{AB} Urea	0.02189

BIOGRAFI PENULIS



Andrian Ronaldo, dilahirkan di Jambi, 12 Februari 1995. Penulis menyelesaikan pendidikan formalnya di SD Negeri 86 Jambi, SMP Negeri 15 Jambi, dan SMA Negeri 3 Jambi. Pada tahun 2012-2015, penulis menempuh jenjang Perguruan Tinggi di D3 Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung. Kemudian, pada tahun 2016, melanjutkan studi S1 melalui program Lintas Jalur Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis juga telah melaksanakan kerja praktek di PT. Ecogreen Oleochemicals, Batam dan PT. Pupuk Sriwidjaja, Palembang. Untuk penelitian tugas akhir, penulis melakukan risetnya di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi, Teknik Kimia ITS Surabaya dengan judul penelitian, “Pembuatan Pupuk Urea Lepas Lambat Berlapis Sulfur dalam *Spouted Bed*”. Penelitian tersebut berada dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng. dan Ni Made Intan Putri Suari, S.T., M.T.
email : andrian.dodo@gmail.com

BIOGRAFI PENULIS



Zahir Ilham, dilahirkan di Malang, 13 September 1994. Anak kedua dari tiga bersaudara pasangan Edi Pratikno dan Endah Purwaningsih. Penulis memiliki hobi mendaki gunung dan bersepeda jarak jauh. Pendidikan dasar hingga menengah pertama penulis diselesaikan di Kecamatan Rancaekek, Kab. Bandung. Setelah lulus dari SMAN 16 Bandung, penulis melanjutkan Pendidikan tinggi di Politeknik Negeri Bandung. Kemudian, pada tahun 2016, melanjutkan studi S1 melalui program Lintas Jalur Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis melaksanakan kerja praktek di PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Cirebon dan PT. Pupuk Sriwidjaja, Palembang. Penelitian tugas akhir, dilakukan penulis di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi, Teknik Kimia ITS Surabaya dengan judul penelitian, “Pembuatan Pupuk Urea Lepas Lambat Berlapis Sulfur dalam *Spouted Bed*”. Penelitian tersebut berada dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng. dan Ni Made Intan Putri Suari, S.T., M.T.
email : zahirilham99@gmail.com